# CUENCA LAGUNA DE ATOTONILCO RESERVA HIDROLÓGICA DE JALISCO

Retos para la conservación de sus ecosistemas

Editores:
José de Anda Sánchez y Demetrio Meza Rodríguez

CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CIATEJ
PARQUE INDUSTRIAL CENTRO LOGÍSTICO JALISCO
COECYTJAL
Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco

# CUENCA LAGUNA DE ATOTONILCO RESERVA HIDROLÓGICA DE JALISCO

## Retos para la conservación de sus ecosistemas

# CUENCA LAGUNA DE ATOTONILCO RESERVA HIDROLÓGICA DE JALISCO

## Retos para la conservación de sus ecosistemas

José de Anda Sánchez
Demetrio Meza Rodríguez
**Editores**

CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CIATEJ
PARQUE INDUSTRIAL CENTRO LOGÍSTICO JALISCO
COECYTJAL
Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco

*Cuenca Laguna de Atotonilco Reserva Hidrológica de Jalisco. Retos para la conservación de sus ecosistemas*

Editores: José de Anda Sánchez & Demetrio Meza Rodríguez
México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., 2023
1a. edición
pp. 446

ISBN: 978-607-8734-54-2
Primera edición: julio de 2023
Cuidado editorial: Enrique Rentería Méndez
Diseño de portada: Nayeli Vallarta

**INSTITUCIONES PARTICIPANTES**

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.
Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.
Centro Universitario de Ciencias Biológico-Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.
Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara.
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Guadalajara.
Universidad Autónoma de Guadalajara.
Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas

Primera edición, 2023
D.R. © 2023 Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.
Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal,
Guadalajara, Jalisco, México., C.P. 44270

Impreso y hecho en México
*Printed and made in Mexico*

# Lista de editores, autores y revisores

## Editores

**José de Anda Sánchez**

Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío del Arenal, 45019 Zapopan, Jalisco, México. Tel. (33) 3345 5200 Ext. 2131. Correo: janda@ciatej.mx

**Demetrio Meza Rodríguez**

Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur (CU Costa Sur). Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional 151, Centro, 48900 Autlán de Navarro, Jalisco, México. Tel. (317) 382 5010 Ext. 57165, Fax (317) 381 1425. Correo: demetrio.meza@academicos.udg.mx

## Autores

**José de Anda Sánchez**

Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío del Arenal, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**Guillermo Barba Calvillo**

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, Las Agujas, 44600 Zapopan, Jalisco, México.

**Luis Alberto Olvera Vargas**

Cátedra CONACYT. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**Ever Sánchez Osorio**

Cátedra CONACYT. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**María de Lourdes Flores López**

Cátedra CONACYT. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**Julia Sánchez Gómez**

Cátedra CONACYT. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**Demetrio Meza Rodríguez**

Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur (CU Costa Sur). Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional 151, Centro, 48900 Autlán de Navarro, Jalisco, México.

**Ofelia Yadira Lugo Melchor**

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**Edgardo Villegas García**

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**José Luis Zavala Aguirre**

Dirección Departamental de Biotecnológicas Ambientales. Universidad Autónoma de Guadalajara. Av. Patria 1201, Lomas del Valle, 45129 Zapopan, Jalisco, México.

**Morelia Carolina Garibay Martínez**

Universidad Autónoma de Guadalajara. Av. Patria 1201, Lomas del Valle, 45129 Zapopan, Jalisco, México.

**Osiris Díaz Torres**

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**Diego Díaz Vázquez**

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara. Av. Gral. Ramón Corona No 2514, Colonia Nuevo México, 45201 Zapopan, Jalisco, México.

**Yair Romero Romero**

Cátedra CONACYT. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

**Marycarmen Verduzco Garibay**

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara. Av. Gral. Ramón Corona No 2514, Colonia Nuevo México, 45201 Zapopan, Jalisco, México.

**Alberto Fernández del Castillo Barrón**

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara. Av. Gral. Ramón Corona No 2514, Colonia Nuevo México, 45201 Zapopan, Jalisco, México.

## Colaboradores

**Javier García Velasco**

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, Las Agujas, 44600 Zapopan, Jalisco, México.

**Jesús Alberto Espinosa Arias**

Centro Universitario del Sur (CUSUR), Universidad de Guadalajara. Av. Enrique Arreola Silva No. 883, Colón, Ciudad Guzmán Centro, 49000, Jalisco, México.

**Alondra García Peña**

Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas. Av. Rubén Ramírez Flores 346, Zacoalco de Torres, Jalisco, México.

**Misael Sebastián Gradilla Hernández**

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara. Av. Gral. Ramón Corona No 2514, Colonia Nuevo México, 45201 Zapopan, Jalisco, México.

**Agustín Camacho Rodríguez**

Centro Universitario de Tonalá (CUTonalá), Universidad de Guadalajara. Nuevo Periférico Oriente. 555, Ejido San José, Tateposco, 45425 Tonalá, Jalisco, México.

**Emiliano Espinosa Ramírez**

Profesionista independiente. Avenida Unión 180. Tel. 341 886 5026. Correo: joseespinosafotografia@gmail.com

**Rodrigo Sánchez González**

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara. Av. Gral. Ramón Corona No 2514, Colonia Nuevo México, 45201 Zapopan, Jalisco, México.

**Jesús Cortés Aguilar**

Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas. Av. Rubén Ramírez Flores 346, Zacoalco de Torres, Jalisco, México.

## Revisores

**Harvey Shear**

Institute for Management & Innovation, University of Toronto Mississauga, 3359 Mississauga Road, Mississauga, Ontario, L5L 1C6, Canadá, Tel. 1-289-888-2574.
Correo: harvey.shear@utoronto.ca

**Jesús Gabriel Rangel Peraza**

Tecnológico Nacional de México Campus Culiacán, Departamento de Ingeniería Ambiental. Domicilio: Juan de Dios Batiz No. 310 pte, Guadalupe, 80220 Culiacán Rosales, S/N. Sinaloa, México, Tel. 667 713 1796.
Correo: jesus.rangel@itculiacan.edu.mx

# Contenido

Lista de editores, autores y revisores.....i
Acrónimos.....xxi
Agradecimientos.....xxiii
Resumen.....xxv

**Capítulo 1. Procesos naturales de la cuenca**
1.1 Introducción.....3
1.2. Localización de la cuenca.....10
1.3. Descripción de la cuenca ampliada de la Laguna de Atotonilco-San Marcos..13
1.4. Provincias fisiográficas.....16
1.5. Fisiografía de la cuenca.....17
1.6. Unidades de paisaje.....20
1.7. Relieve.....23
1.8. Geomorfología.....26
1.9. Suelos.....29
1.10. Permeabilidad del suelo.....33
1.11. Geología.....37
1.12. Clima en la zona centro del estado de Jalisco.....41
1.13. Climas predominantes en la cuenca.....43
1.14. Hidrología superficial.....48
1.15. Presas, bordos y manantiales.....51

**Capítulo 2. La biodiversidad en la cuenca**
2.1. Introducción.....55
2.2. Flora.....57
2.3. Bosque pino y pino-encino.....57
2.3.1. Bosque de encino.....58
2.3.2. Bosque tropical caducifolio y selva baja caducifolia.....59
2.3.3. Bosque espinoso o mezquital.....62
2.3.4. Pastizal.....63
2.3.5. Vegetación ruderal o secundaria.....64
2.3.6. Vegetación Hidrófila.....64
2.3.7. Vegetación acuática y subacuática.....65
2.3.8. Vegetación subacuática.....65
2.3.9. Vegetación semiacuática.....66

2.4. Especies de flora con alguna relevancia o interés....66
2.5. Fauna....66
2.6. Reptiles....67
2.7. Anfibios....68
2.8. Mamíferos....68
2.9. Ictiofauna....69
Especies endémicas....69
Especies nativas....72
Especies exóticas....73
2.10. Aves....76
2.11. Especies de flora y fauna en categoría de riesgo....77

**Capítulo 3. Morfometría de la cuenca y su laguna**
3.1. Introducción....83
3.2. Características morfométricas de la cuenca....84
3.3. Número de orden de las corrientes fluviales de la cuenca....88
3.4. Afluentes principales....94
3.5. Perfiles longitudinales de los ríos principales....94
3.6. Perfil transversal....97
3.7. Morfometría de la Laguna de Atotonilco....98
3.8. Variación en los niveles de almacenamiento en la laguna....105

**Capítulo 4. Balance hídrico de la cuenca**
4.1. Introducción....119
4.2. Estudios previos de balance hídrico....120
4.3. Paisajes hidrológicos....121
4.4. Pendiente de la cuenca....124
4.5. Índice topográfico de humedad....127
4.6. Precipitación pluvial....129
4.7. Evapotranspiración....133
4.8. Variabilidad de las precipitaciones en la cuenca....136
4.9. Escurrimiento superficial....148
4.10. Extracción del agua superficial....150
4.11. Extracción del agua subterránea....153
4.12. Principales acuíferos en la cuenca....157
4.13. Acuífero Lagunas....158
Hidrografía del acuífero....159

Tipo de acuífero....159
Profundidad del agua subterránea....160
Disponibilidad media anual de aguas subterráneas....160
4.14. Acuífero San Isidro....161
Hidrografía del acuífero....162
Tipo de acuífero....163
Profundidad del agua subterránea....163
Disponibilidad media anual de aguas subterráneas....164
4.15. Acuífero Huejotitlán....164
Hidrografía del acuífero....165
Tipo de Acuífero....166
Profundidad del agua subterránea....166
Disponibilidad media anual de aguas subterráneas....166
4.16. Descargas de aguas residuales....167
4.17. Modelo del balance hídrico....169

**Capítulo 5. Caracterización socioeconómica de la cuenca**
5.1. Antecedentes históricos....175
Acatlán de Juárez....175
Jocotepec....176
Tala....179
Tlajomulco de Zúñiga....181
Villa Corona....183
5.2. Identificación geográfica y poblacional....186
5.3. Factor social y económico....190
5.3.1. Pobreza....190
5.3.2. Cohesión Social....192
5.4. Marginación....193
5.4.1. Población económicamente activa....195
5.5. Migración....197
5.5.1. Desarrollo socioeconómico y condiciones de vida....198
5.6. Actividad industrial....204
5.7. Sistemas de producción agropecuaria....205
Acatlán de Juárez....205
Jocotepec....206
Tala....207

Tlajomulco de Zúñiga....207
Villa Corona....208
5.8. Actividades piscícolas....210
5. 9. Escolaridad....211
5.10.Población indígena....214
5.11.Personas con discapacidad....215
5.12.Infraestructura y equipamiento....217
Acatlán de Juárez....217
Jocotepec....217
Tala....218
Tlajomulco de Zúñiga....218
Villa Corona....218
5.13.Servicios de salud....220
5.14.Patrimonio cultural....221
Acatlán de Juárez....221
Jocotepec....221
Tala....222
Tlajomulco de Zúñiga....224
Villa Corona....224
5.15.Turismo y recreación....225
Acatlán de Juárez....225
Jocotepec....225
Tala....225
Tlajomulco de Zúñiga....226
Villa Corona....226
5.16.Arqueología....227
Acatlán de Juárez....227
Jocotepec....227
Tala....227
Tlajomulco de Zúñiga....228
Villa Corona....228

**Capítulo 6. Gestión del agua en la cuenca**
6.1. Introducción....231
6.2. Marco institucional del agua....232
6.3. Usos del suelo y vegetación en la cuenca....232

6.4. Usos consuntivos en la cuenca....234
6.5. Infraestructura de saneamiento....235
6.6. Participantes de la sociedad civil....238
6.7. Calidad del agua....239
6.8. Parámetros fisicoquímicos....242
6.9. Parámetros microbiológicos....246
6.10. Metales pesados en sedimentos....246
6.11. Metales pesados en agua....247
6.12. Plaguicidas....247
6.13. Antibióticos y hormonas....250
6.14. Fuentes potenciales de contaminación del agua....251
6.15. Productividad primaria....253
6.16. Análisis correlacional de los indicadores del metabolismo con parámetros fisicoquímicos y biológicos....255
6.17. Consideraciones finales....261

**Capítulo 7. Condición socioambiental de la cuenca**
7.1. Introducción....265
7.2. Cambios en el uso de suelo....267
7.3. Análisis del cambio en el uso del suelo....271
7.4. Degradación de los suelos....277
7.5. Riesgo de erosión potencial y real....277
7.5.1. Erosión potencial en la cuenca....278
7.5.2. Erosión actual en la cuenca....280
7.6. Índice de potencia de flujo....282
7.7 Prospección de azolve de los humedales....284
7.8 Fragmentación del paisaje....284
7.9. Índice de continuidad....286
7.10. Método de fragmentación forestal....290
7.11. Peligros naturales....293
7.12. Modelo de cambio climático....295

**Capítulo 8. Gestión de los recursos naturales**
8.1. Marco legal para la gestión de los recursos naturales....305
8.2. Declaratoria del sitio Ramsar....307
8.3. Conflictos derivados de la sobreexplotación de los recursos....310

8.4. Régimen de tenencia de la tierra....313
8.5. Estrategias para la recuperación de la laguna....315
8.6. Plan general de recuperación ambiental de la laguna....316
8.7. Aire y cambio climátic....324
8.8. Agua....325
8.9. Suelo....325
8.10. Residuos sólidos urbanos....326
8.11. Ecosistemas terrestres....326
8.12. Ecosistemas acuáticos....327
8.13. Vida silvestre....327
8.14. Recursos forestales....328

**Anexos**
Anexo I. Registro especies arbóreas, arbustivas y herbáceas....330
Anexo II. Registro de las aves avistadas en la laguna....337
Anexo III. Información cartográfica digital....355
Anexo IV. Especies de flora por tipo de vegetación....357
Anexo V. Especies de fauna....363
Anexo VI. Registro de avistamiento de aves en el periodo 2020-2021....370
Anexo VII. Monitoreo de agua y sedimentos....401
VII.1. Material de trabajo....401
VII.2. Periodicidad del muestreo....402
VII.3. Tiempo estimado para toma de muestras en cada campaña....402
VII.4. Medidas de protección personal....403
VII.5. Bitácora de trabajo....403
VII.6. Identificación de muestras....404
VII.7. Metales pesados en sedimentos....404
VII.8. Parámetros fisicoquímicos del agua....404
VII.9. Plaguicidas y antibióticos....406
V.10. Parámetros microbiológicos....406
V.11. Productividad primaria....409
Anexo VIII. Resultados de calidad del agua y sedimentos....405

Referencias....419

# Lista de figuras

## Capítulo 1


| | | |
|---|---|---|
| **Figura 1. 1.** | Localización geográfica de las cuencas cerradas de Atotonilco, Cajititlán, San Marcos, Sayula y Zapotlán, en el estado de Jalisco | 5 |
| **Figura 1. 2.** | Límites de las regiones hidrológicas comprendidas en el estado de Jalisco | 7 |
| **Figura 1. 3.** | Actividades de esparcimiento (vehículos tipo *raiser*) en los caminos colindantes a la laguna | 8 |
| **Figura 1. 4.** | Balnearios con aguas termales localizados en la cuenca | 9 |
| **Figura 1. 5.** | Localización de la cuenca de la Laguna de Atotonilco en México | 12 |
| **Figura 1. 6.** | Mapa descriptivo de la cuenca ampliada de la Laguna de Atotonilco-San Marcos | 14 |
| **Figura 1. 7.** | Mapa descriptivo de la cuenca ampliada de la Laguna de Atotonilco | 15 |
| **Figura 1. 8.** | Marco tectónico del centro-Sur de México que muestra la ubicación de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) | 19 |
| **Figura 1. 9.** | Unidades de paisaje fisiográfico en la cuenca | 22 |
| **Figura 1. 10.** | Mapa de relieves en la cuenca | 24 |
| **Figura 1. 11.** | Imagen del complejo volcánico y Área Natural Protegida "Cerro Viejo" | 25 |
| **Figura 1. 12.** | Imagen del edificio volcánico Cerro de García tomada desde el Lago de Chapala | 25 |
| **Figura 1. 13.** | Perfil transversal Norte a Sur que muestra los principales cambios altitudinales que se presentan en la cuenca | 26 |
| **Figura 1. 14.** | Mapa de topoformas relevantes en la cuenca | 28 |
| **Figura 1. 15.** | Mapa de unidades edáficas en la cuenca | 32 |
| **Figura 1. 16.** | Mapa de índices de permeabilidad del suelo en la cuenca | 36 |
| **Figura 1. 17.** | Mapa de geológico de la cuenca | 39 |
| **Figura 1. 18.** | Mapa de climas dominantes en la cuenca | 44 |
| **Figura 1. 19.** | Régimen de precipitación promedio mensual en la cuenca para el periodo 1963 a 2019 | 45 |
| **Figura 1. 20.** | Mapa de distribución anual de la temperatura en la cuenca | 47 |
| **Figura 1. 21.** | Mapa de hidrología superficial en la cuenca | 50 |
| **Figura 1. 22.** | Principales presas y bordos localizados en la cuenca | 52 |

## Capítulo 2


| | | |
|---|---|---|
| **Figura 2. 1.** | Mapa de uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2020 | 56 |
| **Figura 2. 2.** | Registro de ejemplares de peces localizados en la cuenca | 75 |


## Capítulo 3


| | | |
|---|---|---|
| **Figura 3. 1.** | Curva hipsométrica de la cuenca | 87 |
| **Figura 3. 2.** | Número de orden de las principales corrientes fluviales de la cuenca | 89 |
| **Figura 3. 3.** | Densidad de drenaje de la cuenca | 91 |
| **Figura 3. 4.** | Longitud de las corrientes principales en la cuenca | 95 |
| **Figura 3. 5.** | Perfiles longitudinales de los principales ríos y arroyos dentro de la cuenca | 96 |
| **Figura 3. 6.** | Perfiles transversales dentro de la cuenca | 97 |
| **Figura 3. 7.** | Estaciones de campo para el levantamiento de la altura de la lámina de agua dentro de la Laguna de Atotonilco | 99 |
| **Figura 3. 8.** | [A] longitud máxima, [B] ancho máximo de la laguna | 102 |
| **Figura 3. 9.** | [A] Perfil longitudinal de la laguna, [B] Perfil transversal de la laguna | 105 |
| **Figura 3. 10.** | Variación de la superficie húmeda de la laguna en el periodo de agosto a diciembre de 2020 | 107 |
| **Figura 3. 11.** | Variación de la superficie y profundidad de la laguna en el periodo de enero a diciembre de 2021 | 108 |
| **Figura 3. 12.** | Topografía de la Laguna de Atotonilco | 112 |
| **Figura 3. 13.** | Batimetría de la Laguna de Atotonilco | 113 |
| **Figura 3. 14.** | Relación de la elevación con el área y el volumen de almacenamiento de la Laguna de Atotonilco | 115 |


## Capítulo 4


| | | |
|---|---|---|
| **Figura 4. 1.** | Mapa de paisajes dominantes de la cuenca | 123 |
| **Figura 4. 2.** | Mapa de pendientes en la cuenca | 126 |
| **Figura 4. 3.** | Mapa del índice topográfico de humedad en la cuenca | 128 |
| **Figura 4. 4.** | Mapa de distribución media anual de la precipitación en la cuenca calculada para el periodo 1963 -2019 | 130 |

| | | |
|---|---|---|
| **Figura 4. 5.** | Mapa de precipitación máxima de 24 horas en la cuenca observada durante el periodo 1963 -2019 | 132 |
| **Figura 4. 6.** | Mapa de evapotranspiración real en la cuenca medida para el periodo 1963 - 2019 | 135 |
| **Figura 4. 7.** | Serie temporal de la precipitación anual estimada para la cuenca 1963 a 2019 | 136 |
| **Figura 4. 8.** | Distribución de frecuencias de la precipitación anual en la cuenca 1963 a 2019 | 138 |
| **Figura 4. 9.** | Serie de tiempo de la precipitacón mensual en la cuenca de 1963 a 2019 | 139 |
| **Figura 4. 10.** | Variación entre décadas de precipitación mensual en la cuenca de 1963 a 2019 | 140 |
| **Figura 4. 11.** | Frecuencia de la precipitación mensual en la cuenca de 1963 a 2019 | 141 |
| **Figura 4. 12.** | Índice estacional de la precipitación mensual | 143 |
| **Figura 4. 13.** | Serie de tiempo de la precipitación diaria en la cuenca de 1963 a 2019 | 144 |
| **Figura 4. 14.** | Frecuencia de la precipitación diaria en la cuenca de 1963 a 2019 | 145 |
| **Figura 4. 15.** | Periodo de retorno establecido para la cuenca de la Laguna de Atotonilco | 147 |
| **Figura 4. 16.** | Mapa de escurrimientos en la cuenca calculada para el periodo 1963 -2019 | 149 |
| **Figura 4. 17.** | Mapa descriptivo de los aprovechamientos de agua superficial en la cuenca | 152 |
| **Figura 4. 18.** | Número de sitios de extracción de aguas superficiales de los municipios que forman la cuenca de la Laguna de Atotonilco | 153 |
| **Figura 4. 19.** | Mapa descriptivo de aprovechamientos de agua subterránea en la cuenca | 156 |
| **Figura 4. 20.** | Mapa de delimitación administrativa de los acuíferos en la cuenca | 157 |
| **Figura 4. 21.** | Delimitación administrativa del acuífero Lagunas | 158 |
| **Figura 4. 22.** | Delimitación administrativa del acuífero San Isidro | 162 |
| **Figura 4. 23.** | Delimitación administrativa del acuífero Huejotitlán | 165 |
| **Figura 4. 24.** | Componentes del ciclo hidrológico en la cuenca (cifras en $hm^3$/año) | 170 |
| **Figura 4. 25.** | Aproximación al balance hídrico de la cuenca (cifras en $hm^3$/año) | 172 |

## Capítulo 5


| | | |
|---|---|---|
| **Figura 5. 1.** | Municipio de Acatlán de Juárez | 175 |
| **Figura 5. 2.** | Municipio de Jocotepec | 177 |
| **Figura 5. 3.** | Municipio de Tala | 179 |
| **Figura 5. 4.** | Municipio de Tlajomulco de Zúñiga | 181 |
| **Figura 5. 5.** | Municipio de Villa Corona | 183 |
| **Figura 5. 6.** | Municipios que integran el área de estudio | 186 |
| **Figura 5. 7.** | Pobreza multidimensional en los municipios de la laguna | 191 |
| **Figura 5. 8.** | Tipos de carencias sociales y de ingreso en los municipios de la laguna | 192 |
| **Figura 5. 9.** | Servicios con los que cuentan las viviendas en los municipios de la laguna | 195 |
| **Figura 5. 10.** | Actividades que realiza la población de 12 años y más no económicamente activa (PNEA) | 196 |
| **Figura 5. 11.** | Lenguas indígenas más frecuentes en los municipios | 215 |
| **Figura 5. 12.** | Causa de la discapacidad, limitación, problema, o condición mental en los municipios de la laguna | 216 |


## Capítulo 6


| | | |
|---|---|---|
| **Figura 6. 1.** | Uso de suelo y vegetación en la cuenca en el año 2020 | 233 |
| **Figura 6. 2.** | Localización de las estaciones de monitoreo lacustres (L) y fluviales (C) | 240 |
| **Figura 6. 3.** | Envases de plaguicidas encontrados en las áreas agrícolas de la cuenca | 249 |
| **Figura 6. 4.** | Vista aguas arriba del canal C2 localizado en Atotonilco el Bajo | 252 |
| **Figura 6. 5.** | Vista aguas abajo del canal C2 localizado en Atotonilco el Bajo | 252 |
| **Figura 6. 6.** | Gráfico de sedimentación indicando que los datos son explicados por dos variables de apoyo (componentes principales) | 256 |
| **Figura 6. 7.** | Gráfico de pesos de las componentes para observar el grado de asociación entre los factores estudiados en la Laguna de Atotonilco | 256 |
| **Figura 6. 8.** | Correlaciones Pearson Producto-Momento entre las variables consideradas | 258 |

## Capítulo 7


| | | |
|---|---|---|
| **Figura 7. 1.** | Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2011 | 268 |
| **Figura 7. 2.** | Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2020 | 269 |
| **Figura 7. 3.** | Mapa de cambio de uso de suelo y vegetación en la cuenca en el periodo 2011-2020 | 272 |
| **Figura 7. 4.** | Mapa de erosión potencial en la cuenca | 279 |
| **Figura 7. 5.** | Mapa de erosión actual en la cuenca | 281 |
| **Figura 7. 6.** | Índice de potencia de flujo en la cuenca | 283 |
| **Figura 7. 7.** | Relación Índice de Continuidad vs Densidad de Drenaje | 288 |
| **Figura 7. 8.** | Fragmentación del paisaje en la cuenca a través del método de índice de continuidad | 289 |
| **Figura 7. 9.** | Escenario de fragmentación forestal en la cuenca | 292 |
| **Figura 7. 10.** | Mapas de identificación de las zonas de riesgo por inundación [A] y riesgo de incendio [B] en la cuenca | 296 |
| **Figura 7. 11.** | Mapa de riesgos naturales en la cuenca | 297 |
| **Figura 7. 12.** | Anomalías de temperatura al 2075-2099 usando el modelo GFDL de cambio climático | 300 |
| **Figura 7. 13.** | Anomalías de precipitación al 2075-2099 usando el modelo GFDL de cambio climático | 301 |


## Capítulo 8


| | | |
|---|---|---|
| **Figura 8. 1.** | Límites geográficos del sitio Ramsar | 308 |
| **Figura 8. 2.** | Azolve de canales en los márgenes de la Laguna de Atotonilco | 311 |
| **Figura 8. 3.** | Invasión de las áreas federales en los márgenes de la zona ribereña de la Laguna de Atotonilco | 311 |
| **Figura 8. 4.** | Plantaciones de agave en terrenos colindantes con la ribera Oeste de la Laguna de Atotonilco | 312 |
| **Figura 8. 5.** | Uso intensivo de plaguicidas para la agricultura la cuenca de la Laguna | 312 |
| **Figura 8. 6.** | Conceptualización de la recuperación de un ecosistema degradado y actividades relacionadas | 314 |
| **Figura 8. 7.** | Conceptualización de la recuperación de un ecosistema degradado y actividades relacionadas | 317 |

**Figura 8. 8.** Metodología para el desarrollo de una Estrategia de Recuperación de la Laguna de Atotonilco 318

**Figura 8. 9.** El marco para la recuperación estratégica de la Laguna de Atotonilco 321

## Anexos

**Anexo II.** Registro de las aves avistadas en la laguna

**Figura II. 1.** *Amazilia violiceps* (Colibrí Corona Violeta) 343

**Figura II. 2.** *Anas acuta* (Pato Golondrino) 343

**Figura II. 3.** *Anas clypeata* (Pato Cucharón) 344

**Figura II. 4.** *Anas cyanopetra* (Cerceta Castaña) 344

**Figura II. 5.** *Calidris minutilla* (Playero Diminuto) 345

**Figura II. 6.** *Charadrius nivosus* (Chorlito Nevado) 345

**Figura II. 7.** *Charadrius vociferus* (Chorlito Tildío) 346

**Figura II. 8.** *Chen caerulescens* (Ganso blanco) 346

**Figura II. 9.** *Columbina inca* (Tortolita Cola Larga) 347

**Figura II. 10.** *Egretta Thula* (Garza Dedos Dorados) 347

**Figura II. 11.** *Egretta tricolor* (Garza Tricolor) 348

**Figura II. 12.** *Fulica americana* (Gallareta Americana) 348

**Figura II. 13.** *Himantopus mexicanus* (Monjita Americana) 349

**Figura II. 14.** *Hirunda rustica* (Golondrina Tijereta) 349

**Figura II. 15.** *Larus delawarensis* (Gaviota Pico Anillado) 350

**Figura II. 16.** *Limnodromus scolopaceus* (Costurero Pico Largo) 350

**Figura II. 17.** *Molothrus ater* (Tordo Cabeza Café) 351

**Figura II. 18.** *Oxyura jamaicensis* (Pato Tepalcate) 351

**Figura II. 19.** *Pelecanus erythrorhynchos* (Pelícano Blanco Americano) 352

**Figura II. 20.** *Platalea ajaja* (Espátula Rosada) 352

**Figura II. 21.** *Plegadis chihi* (Ibis Ojos Rojos) 353

**Figura II. 22.** *Recurvirostra americana* (Avoceta Americana) 353

**Figura II. 23.** *Sturnella neglecta* (Pradero del Oeste) 354

**Figura II. 24.** *Xanthocephalus xanthocephalus* (Tordo Cabeza Amarilla) 354

**Anexo VI.** Registro de avistamiento de aves en el periodo 2020-2021

**Figura VI. 1.** Localización de los puntos de observación seleccionados para el avistamiento de aves en la Laguna de Atotonilco 371

# Índice de tablas

## Capítulo 1


**Tabla 1. 1.** Superficie compartida de cada municipio en la cuenca 11

**Tabla 1. 2.** Superficie compartida de cada municipio en la cuenca ampliada de la Laguna de Atotonilco 16

**Tabla 1. 3.** Unidades de paisaje en la cuenca 21

**Tabla 1. 4.** Superficie ocupada por las topoformas más relevantes en la cuenca 27

**Tabla 1. 5.** Unidades edafológicas predominantes en la cuenca 30

**Tabla 1. 6.** Índice de permeabilidad de los suelos de la cuenca 35

**Tabla 1. 7.** Litología encontrada en la cuenca 38

**Tabla 1. 8.** Régimen de precipitaciones mensuales en la cuenca para el periodo 1963-2019 45

**Tabla 1. 9.** Principales presas en el municipio de Villa Corona 51


## Capítulo 2


**Tabla 2. 1.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2020 55

**Tabla 2. 2.** Especies de flora y fauna de la Laguna de Atotonilco incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 78


## Capítulo 3


**Tabla 3. 1.** Parámetros morfométricos e hidrográficos de la cuenca 86

**Tabla 3. 2.** Relación de bifurcación mediante el método Horton (1945) 92

**Tabla 3. 3.** Relación de bifurcación mediante el método Strahler (1964) 93

**Tabla 3. 4.** Resultados hidrográficos de los principales afluentes de la cuenca 94

**Tabla 3. 5.** Características morfométricas de la Laguna de Atotonilco 100

**Tabla 3. 6.** Variación del área, perímetro, profundidad máxima y volumen de almacenamiento de la Laguna de Atotonilco (agosto del 2020 a diciembre del 2021) 114


## Capítulo 4


**Tabla 4. 1.** Volumen medio anual de escurrimiento natural en la cuenca de la Laguna de Atotonilco (Laguna Villa Corona A y B) en el periodo 2008 - 2020 121

**Tabla 4. 2.** Paisajes dominantes en la cuenca 122
**Tabla 4. 3.** Descripción de las pendientes en la cuenca 125
**Tabla 4. 4.** Distribución de la precipitación media anual en la cuenca calculada para el periodo 1963 -2019 129
**Tabla 4. 5.** Distribución de la precipitación máxima en 24 horas promedio anual en la cuenca observada durante el periodo 1963 -2019 131
**Tabla 4. 6.** Distribución de la evapotranspiración real en la cuenca medida para el periodo 1963 -2019 134
**Tabla 4. 7.** Estadística básica de los datos de precipitación anual en la cuenca 137
**Tabla 4. 8.** Distribución de frecuencias de la precipitación anual en la cuenca 138
**Tabla 4. 9.** Distribución de frecuencias de la precipitación mensual en la cuenca 141
**Tabla 4. 10.** Distribución de frecuencias de la precipitación diaria en la cuenca 144
**Tabla 4. 11.** Periodo de retorno en años y sus modelos ajustados en la cuenca 146
**Tabla 4. 12.** Distribución del escurrimineto superficial promedio anual en la cuenca calculada para el periodo 1963 -2019 148
**Tabla 4. 13.** Volumen concesionado de agua superficial para los diferentes usos del agua ($hm^3$/año) y el número de sitios de extracción en la cuenca 151
**Tabla 4. 14.** Volumen concesionado de agua superficial por municipio para los diferentes usos del agua ($hm^3$/año) en la cuenca 151
**Tabla 4. 15.** Aprovechamiento de las aguas subterráneas en la cuenca 154
**Tabla 4. 16.** Poblaciones asentadas en la cuenca de la Laguna de Atotonilco 168

## Capítulo 5

**Tabla 5. 1.** Superficie y densidad de población de los municipios de la colindantes a la Laguna de Atotonilco 188
**Tabla 5. 2.** Población por género en los municipios de la Laguna de Atotonilco 189
**Tabla 5. 3.** Viviendas habitadas y ocupantes promedio en los municipios 190
**Tabla 5. 4.** Coeficiente de Gini y razón de ingreso en los municipios de la laguna 193
**Tabla 5. 5.** Grado de marginación en los municipios de la laguna 194
**Tabla 5. 6.** Población económicamente activa (PEA) en los municipios 196
**Tabla 5. 7.** Intensidad migratoria en los municipios de la Laguna de Atotonilco 198
**Tabla 5. 8.** Distribución de las unidades económicas por sector 200
**Tabla 5. 9.** Participación del valor agregado censal bruto (VACB) por actividad y por municipio 202

| | | |
|---|---|---|
| **Tabla 5. 10.** | Aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas dedicadas a la producción agrícola y pecuaria, Acatlán de Juárez, Jalisco | 205 |
| **Tabla 5. 11.** | Uso actual del suelo, Villa Corona, Jalisco | 209 |
| **Tabla 5. 12.** | Uso de suelo en Villa Corona, Jalisco | 210 |
| **Tabla 5. 13.** | Porcentaje de la población sin educación básica y analfabeta | 212 |
| **Tabla 5. 14.** | Condiciones de escolaridad por municipio y grupos de edad | 213 |
| **Tabla 5. 15.** | Población que habla lengua indígena en los municipios de la laguna | 214 |
| **Tabla 5. 16.** | Personas con discapacidad, limitación, problema o condición mental en los municipios de la laguna | 216 |
| **Tabla 5. 17.** | Población según condición de afiliación a servicios de salud por entidad federativa y municipio, 2020 | 220 |

## Capítulo 6

| | | |
|---|---|---|
| **Tabla 6. 1.** | Uso de suelo y vegetación en la cuenca de la laguna en el año 2020 | 234 |
| **Tabla 6. 2.** | Usos consuntivos del agua concesionada en la cuenca | 235 |
| **Tabla 6. 3.** | Infraestructura de saneamiento por municipio en la cuenca | 237 |
| **Tabla 6. 4.** | Coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo de calidad de agua y sedimentos en la laguna de Atotonilco | 241 |
| **Tabla 6. 5.** | Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos de las estaciones lacustres y fluviales monitoreadas en la Laguna de Atotonilco durante el estiaje (febrero) y lluvias (agosto) | 243 |
| **Tabla 6. 6.** | Valores límite establecidos para parámetros fisicoquímicos seleccionados por la normativa nacional e internacional para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce | 244 |
| **Tabla 6. 7.** | Compendio de resultados del metabolismo fitoplanctónico en la Laguna de Atotonilco durante el año 2021 | 254 |
| **Tabla 6. 8.** | Cotejo de los parámetros analizados en la Laguna de Atotonilco durante el año 2021 | 257 |
| **Tabla 6. 9.** | Modelos lineales entre las variables que resultaron con buenos niveles de asociación estadística ($P<0.10$ y $P<0.05$) | 260 |
| **Tabla 6. 10.** | Modelos factoriales que explican en forma significativa la productividad primaria neta. Las variables independientes están abreviadas como “Ind 1” y “Ind 2” | 261 |

## Capítulo 7


| | | |
|---|---|---|
| **Tabla 7. 1.** | Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2011 | 270 |
| **Tabla 7. 2.** | Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2020 | 270 |
| **Tabla 7. 3.** | Diferencias en el uso del suelo en los años 2011 y 2020 en la cuenca | 271 |
| **Tabla 7. 4.** | Clasificación de las leyendas jerárquicas para el cambio de uso de suelo y vegetación | 273 |
| **Tabla 7. 5.** | Cambios observados en el uso de suelo y vegetación en la cuenca en el periodo 2011-2020 | 273 |
| **Tabla 7. 6.** | Análisis del cambio en el uso de suelo y vegetación en la cuenca para el periodo 2011-2020 | 274 |
| **Tabla 7. 7.** | Tendencias de cambio en el uso de suelo en el periodo 2011-2020 | 276 |
| **Tabla 7. 8.** | Erosión potencial en la cuenca | 280 |
| **Tabla 7. 9.** | Erosión actual en la cuenca | 280 |
| **Tabla 7. 10.** | Índice de potencia de flujo en la cuenca | 282 |


## Capítulo 8


| | | |
|---|---|---|
| **Tabla 8. 1.** | Áreas Naturales Protegidas en el estado de Jalisco | 306 |


## Anexos


| | | |
|---|---|---|
| **Anexo I.** | Registro especies arbóreas, arbustivas y herbáceas | |
| Tabla I.1. | Registro de especies con alguna relevancia o interés en la Laguna de Atotonilco de acuerdo con la CONABIO | 330 |
| **Anexo II.** | Registro de las aves avistadas en la laguna | |
| Tabla II. 1. | Listado de aves avistas en la Laguna de Atotonilco | 337 |
| **Anexo III.** | Información cartográfica digital | |
| Tabla III. 1. | Fuentes de información cartográfica digital | 355 |
| **Anexo IV.** | Especies de flora por tipo de vegetación | |
| Tabla IV. 1. | Bosque de pino y pino-encino | 357 |
| Tabla IV. 2. | Bosque de encino | 358 |
| Tabla IV. 3. | Bosque tropical caducifolio | 359 |
| Tabla IV. 4. | Bosque y matorral espinoso | 360 |
| Tabla IV. 5. | Pastizal | 361 |
| Tabla IV. 6. | Vegetación acuática y subacuática | 361 |

| | | |
|---|---|---|
| Tabla IV. 7. | Vegetación semiacuática | 362 |
| Tabla IV. 8. | Vegetación ruderal | 362 |
| **Anexo V.** | Especies de fauna | |
| Tabla V. 1. | Reptiles | 363 |
| Tabla V. 2. | Anfibios | 363 |
| Tabla V. 3. | Mamíferos | 363 |
| Tabla V. 4. | Aves terrestres y acuáticas | 364 |
| **Anexo VI.** | Registro de avistamiento de aves en el periodo 2020-2021 | |
| Tabla VI. 1. | Campañas de observación de especies de aves en la Laguna de Atotonilco en el periodo de octubre del 2020 a febrero del 2021 | 370 |
| Tabla VI. 2. | Fechas y localización geográfica de los puntos seleccionados para el avistamiento de aves | 372 |
| Tabla VI. 3. | Identificación de especies de aves y número de individuos de cada especie observadas durante las campañas de avistamiento en la laguna | 374 |
| **Anexo VII.** | Monitoreo de agua y sedimentos | |
| Tabla VII.1. | Descripción del material de trabajo requerido para el monitoreo de agua y sedimentos en la laguna | 401 |
| Tabla VII.2. | Métodos aplicados para la medición de los parámetros fisicoquímicos | 401 |
| Tabla VII.3. | Métodos aplicados para la medición de los metales pesados y metaloides | 405 |
| Tabla VII.4. | Métodos aplicados para la medición de compuestos orgánicos sintéticos | 406 |
| Tabla VII.5. | Métodos aplicados para la medición de antibióticos y hormonas | 407 |
| Tabla VII.6. | Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras tomadas de manera puntual de acuerdo con los parámetros a determinar | 408 |
| Tabla VII.7. | Métodos aplicados para la medición de los parámetros microbiológicos | 409 |
| **Anexo VIII.** | Resultados de calidad del agua y sedimentos | |
| Tabla VIII. 1. | Valores límite establecidos para parámetros fisicoquímicos seleccionados por la normativa nacional e internacional para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce | 410 |
| Tabla VIII. 2. | Valores límite establecidos para metales pesados por la normativa nacional e internacional para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce | 411 |

| | | |
|---|---|---|
| Tabla VIII. 3. | Valores límite establecidos para microorganismos patógenos por la normativa nacional e internacional para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce | 411 |
| Tabla VIII. 4. | Valores medidos *in situ* con la sonda portátil HI 9828 de la marca HANNA® en las estaciones lacustres y fluviales de la laguna en febrero del 2021 | 412 |
| Tabla VIII. 5. | Parámetros fisicoquímicos observados en las estaciones lacustres de la laguna en febrero y agosto de 2021 | 413 |
| Tabla VIII. 6. | Valores medidos en el laboratorio del CIATEJ de Microrganismos Patógenos seleccionados de muestras de agua tomadas en febrero y agosto de 2021 en las estaciones lacustres de la laguna | 414 |
| Tabla VIII. 7. | Valores medidos en el laboratorio del CIATEJ de indicadores microbiológicos seleccionados de muestras de agua tomadas en febrero y agosto de 2021 en las estaciones fluviales de la laguna | 415 |
| Tabla VIII. 8. | Valores obtenidos en el laboratorio del CIATEJ de metales pesados en las muestras de sedimentos tomadas en febrero de 2021 en las estaciones lacustres de la laguna y comparados con otros cuerpos de agua | 416 |
| Tabla VIII. 9. | Valores medidos en el laboratorio del CIATEJ de plaguicidas en las en las muestras de agua tomadas en febrero, agosto y diciembre de 2021 en las estaciones lacustres de la laguna | 417 |

## Acrónimos

| | | | |
|---|---|---|---|
| **CEA** | Comisión Estatal de Agua | **IPCC** | Panel Intergubernamental de Cambio Climáticos |
| **CIATEJ** | Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. | **ITH** | Índice Topográfico de Humedad |
| **CITES** | Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres | **JIMAL** | Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas |
| **CLJ** | Centro Logístico Jalisco | **L/p·d** | Litros por día |
| **COECYTJAL** | Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Jalisco | **LFD** | Ley Federal de Derechos |
| **CONABIO** | Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad | **LGEEPA** | Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente |
| **CONACYT** | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología | **OECD** | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos |
| **CONAGUA** | Comisión Nacional del Agua | **OMM** | Organización Meteorológica Mundial |
| **CONANP** | Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas | **PEA** | Población Económicamente Activa |
| **CONEVAL** | Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social | **PNEA** | Población No Económicamente Activa |
| **CUCBA** | Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias | **REPDA** | Registro Público de Derechos de Agua |
| **CUCSUR** | Centro Universitario de la Costa Sur | **RH** | Región Hidrológica |
| **DENUE** | Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas | **SADER** | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural |
| **DOF** | Diario Oficial de la Federación | **SAGARPA** | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ESRI** | Environmental Systems Research Institute | **SEMADET** | Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial |
| **ET** | Evapotranspiración | **SEMARNAT** | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| **FAO** | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | **SICYT** | Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología |
| **FVTM** | Faja Volcánica Transmexicana | **SINA** | Sistema Nacional de Información del Agua |
| **IIEG** | Instituto de Información Estadística y Geográfica IIEG | **SPI** | Stream Power Index |
| **IMEPLAN** | Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara | **UICN** | Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza |
| **IMSS** | Instituto Mexicano del Seguro Social | **UNEP** | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| **IMTA** | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua | **USGS** | U.S. Geological Survey |
| **INEGI** | Instituto Nacional de Estadística y Geografía | **VACB** | Valor Agregado Censal Bruto |

## Agradecimientos

La presente obra surge como resultado del proyecto titulado "Estudio limnológico para la recuperación de la Laguna de Atotonilco, Jalisco" el cual fue aprobado para su ejecución en la convocatoria del Fondo de Desarrollo Científico de Jalisco con registro FODECIJAL 8193-2019 impulsada por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Jalisco (COECYTJAL) y la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología del Gobierno del Estado de Jalisco. Cabe destacar el valioso apoyo concurrente que ofreció el Centro Logístico Jalisco (CLJ) para el desarrollo de las actividades que se comprometieron en el estudio. Gracias al apoyo de los recursos del COECYTJAL y del CLJ ha sido posible hacer de conocimiento público los resultados que se presentan en este libro. De manera particular, se agradece, igualmente, el apoyo del equipo de trabajo de la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas (JIMAL) quienes estuvieron atentos a brindar las facilidades para la ejecución de los trabajos de campo que implicó el desarrollo del proyecto antes mencionado.

El Dr. Demetrio Meza Rodríguez del Departamento de Ecología y Recursos Naturales del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara fue el responsable de la generación del Sistema de Información Geográfica con el cual se llevó a cabo la caracterización física e hidrográfica de la cuenca, la caracterización morfométrica de la laguna, los modelos batimétricos de la laguna (datos inéditos) y el balance de agua dentro de la cuenca de la laguna.

El trabajo de campo para la toma de muestras de las estaciones fluviales y lacustres de la laguna se llevó a cabo gracias a la dedicación y apoyo de Osiris Diaz Torres estudiante de posgrado del CIATEJ, y de Marycarmen Verduzco Garibay, Diego Díaz Vázquez, y Alberto Fernández del Castillo Barrón, estudiantes de posgrado del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey supervisados por el Dr. Misael Sebastián Gradilla Hernández. El análisis de calidad del agua se llevó a cabo gracias al apoyo del equipo de trabajo de la Unidad de Servicios Analíticos del CIATEJ supervisados por la Dra. Ofelia Yadira Lugo Melchor.

Un agradecimiento al Dr. Guillermo Barba Calvillo del Departamento de Botánica y Zoología, División de Ciencias Biológicas y Ambientales del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara y al Biol. Edgardo Villegas García del CIATEJ por contribuir con la base de información de flora y fauna representativa de la cuenca de la Laguna de Atotonilco. Asimismo, al Dr. Agustín Camacho Rodríguez del Centro Universitario de Tonalá y al Dr. José Luis Zavala Aguirre del Departamento de Biotecnológicas y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guadalajara por sus aportaciones en el campo de la productividad primaria y biodiversidad acuícola de la laguna.

## Resumen

Esta obra abarca una amplia diversidad de temas ambientales, económicos, políticos, y sociales que se dan lugar en la cuenca de la Laguna de Atotonilco, la cual se localiza al centro del estado de Jalisco y constituye uno de los principales hábitats para las especies de aves nativas y migratorias del Occidente de México. La obra, en su conjunto, está dedicada a la descripción del medio natural y la biodiversidad en la cuenca, en donde se describe una amplia variedad de especies de aves observadas en la laguna, así como las especies de flora y fauna representativas del área de estudio. Se hizo énfasis en aquellas especies registradas en la norma NOM-059-SEMARNAT-2010 y que están clasificadas como especies en riesgo.

En el libro se describe ampliamente las características morfométricas de la laguna y su cuenca, lo cual es indispensable para desarrollar el modelo de balance hídrico de la cuenca. Los resultados del balance hídrico en donde se confirma que en la laguna hay un desbalance hídrico derivado principalmente de la explotación intensiva del recurso en las actividades agrícolas que se dan principalmente en las planicies de la cuenca. Sumado a la caracterización morfométrica de la cuenca de la laguna se abordan temas relacionados con los aspectos sociales y económicos de los municipios que cuentan con una superficie importante de su territorio dentro de los límites geográficos de la cuenca.

Cabe destacar que la zona de estudio tiene un extenso patrimonio histórico y cultural dados los importantes vestigios que se han localizado en la zona por pobladores locales, en donde destacan osamentas de especies prehistóricas, huellas de asentamientos humanos prehispánicos, así como edificaciones que datan de la época de la colonia, que aún subsisten en algunas de las poblaciones asentadas en la cuenca. Sin embargo, cuando la laguna se seca, durante el estiaje debido a la alteración hidrológica derivaba de la retención aguas arriba por la Presa Hurtado y la extracción de aguas superficiales y subterráneas para el uso agrícola, los extensos playones que surgen en esta época sirven como terrenos idóneos para el uso de vehícu-

los tipo raiser -también conocidos como "areneros"- los cuales destruyen a su paso muchas de las evidencias del paso por estas tierras que dejaron culturas ancestrales en la planicie lacustre, además de destruir los hábitats naturales destinados al anidamiento de las aves.

Dentro del libro se presentan los resultados del análisis de los usos del suelo y vegetación, el estudio de calidad del agua y sedimentos llevados a cabo en las corrientes tributarias que son depositadas en la laguna y en la zona lacustre. Se puede apreciar que las mayores actividades de la cuenca de la Laguna de Atotonilco son la agricultura y el comercio, con asentamientos humanos importantes en las localidades de Santa Cruz de las Flores, Buena Vista, Acatlán de Juárez, Villa Corona, Atotonilco el Bajo, entre otros. Si bien la mayoría de las comunidades asentadas en la cuenca cuentan con obras de conducción de aguas residuales, estas carecen de infraestructura para su saneamiento y reutilización. Como resultado, se observa presencia importante de materia orgánica, nutrientes y microorganismos patógenos en los canales y arroyos que desembocan en la laguna. Además de reportar en este estudio las características físicas, químicas y biológicas del agua de la laguna, se reportan los primeros hallazgos en cuanto a la productividad primaria. Ahora se conoce que la laguna tiene una reducida zona fótica en su columna de agua, esto derivado de las características someras, salinas y del alto nivel de turbiedad de sus aguas, lo cual limita de forma importante la productividad primaria y como consecuencia se reduce la productividad de las especies piscícolas.

Sumado a lo anterior se describen los temas de sobreexplotación del recurso hídrico en la cuenca, la deforestación, los cambios en el uso del suelo que favorecen el avance de la frontera agrícola y de las zonas urbanas, las prácticas no sustentables en la agricultura para la producción intensiva de caña (*Saccharum officinarum*), berries tales como la fresa (*Fragaria* × *ananassa*), arándano (*Vaccinium oxycoccus*), zarzamora (*Rubus fruticosus*) y frambuesa (*Rubus idaeus*); así como maíz (*Zea mays*), agave (*Tequilana weber*), entre otros cultivos, la fragmentación del hábitat debido al desarrollo de la agricultura y la generación de infraestructura urbana, así como la degradación de los

suelos debido a la carencia de prácticas en la agricultura compatibles con el medio ambiente. Estas condiciones que actualmente dominan el paisaje actual de la cuenca hacen altamente vulnerables los esfuerzos de conservación de este importante ecosistema lacustre. No obstante que los altos niveles de alteración del ecosistema son evidentes, aún sigue siendo importante el número de especies y poblaciones de aves acuáticas, anfibios y especies terrestres observadas en el área de influencia de la laguna y sus humedales.

La información generada permitió al grupo de expertos participantes proponer estrategias y líneas de acción de corto y mediano plazo orientadas a la recuperación del régimen de las corrientes fluviales y la interconectividad biológica entre las zonas de bosque y llanuras que dieron origen al impresionante paisaje de la Laguna de Atotonilco y sus humedales. Finalmente es importante mencionar que el contenido de este documento ha permitido proponer a las autoridades del gobierno del estado de Jalisco la iniciativa de creación de una nueva área natural protegida dentro de la cuenca con la finalidad de fortalecer las acciones de conservación de la laguna dada la importancia que esta tiene como patrimonio ambiental y cultural del Occidente de México.

*Quería enseñarles a escuchar el latido del corazón de la tierra, a participar de la vida del todo y, en medio de sus pequeñas fortunas, a no olvidar que no somos dioses y creados por nosotros mismos, sino hijos y partes de la tierra y el todo cósmico. Quería recordaros que como los cantos de los poetas y como los sueños de nuestras noches, los ríos, los mares, las nubes pasajeras y las tempestades son símbolos y portadores del anhelo que extiende sus alas entre el cielo y la tierra y cuya meta es la certeza indudable de ciudadanía y de la inmortalidad de todos los seres vivos*

*Peter Camenzind*, Hermann Hesse (1904)

# Capítulo 1

## Procesos naturales de la cuenca

José de Anda Sánchez[1]
Demetrio Meza Rodríguez[2]

[1] Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.

[2] Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.

## 1.1 Introducción

Una cuenca hidrográfica es un área de tierra de la que todos los escurrimientos (perennes, intermites y efímeras) drenan al mismo río, lago u otro cuerpo de agua; todos tienen una salida común. Las cuencas hidrográficas pueden ser tan pequeñas como una huella del pie o lo suficientemente grandes como para abarcar toda la tierra que drena el agua hacia los ríos que desembocan en el mar (USGS, 2020). Para el caso de la República Mexicana, Cotler-Ávalos (2010) hace una amplia descripción histórica del desarrollo conceptual de las cuencas hidrográficas de México. Asimismo, en su obra se establecen los límites geográficos de las 1471 cuencas hidrográficas que conforman el territorio nacional (Cotler-Ávalos, 2010).

La palabra "cuenca" se usa indistintamente como cuenca de drenaje o cuenca de captación. Las crestas y colinas que separan dos cuencas hidrográficas se denominan división de drenaje o parteaguas (línea imaginaria). La cuenca se compone de agua superficial (ríos, arroyos, lagos, lagunas, humedales y embalses (presas de captación) y todas las aguas subterráneas subyacentes. Las cuencas hidrográficas más grandes contienen muchas cuencas hidrográficas conocidas como subcuencas, estas se dividen en microcuencas o intercuencas más pequeñas. Las cuencas hidrográficas son importantes porque el caudal y la calidad del agua de un río se ven afectados por las actividades humanas realizadas a lo largo de su superficie hasta

su desembocadura en el mar o bien por los eventos naturales que pueden ocurrir dentro de la misma (USGS, 2020).

Los lagos, lagunas o humedales en donde las redes de drenaje no tienen litoral y en donde el agua no desemboca en grandes cuerpos de agua- como ríos conectados a océanos- se denominan cuerpos de agua endorreicos y por tanto se ubican dentro de una cuenca cerrada (Yapiyev *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018). Considerando únicamente los procesos del ciclo natural del agua, las cuencas endorreicas y los lagos o lagunas que se encuentran dentro de estas experimentan pérdidas de agua a través de procesos como la percolación o la infiltración del agua al subsuelo hasta alcanzar los cuerpos de agua subterránea y la evapotranspiración (Yapiyev *et al.*, 2017).

El análisis ambiental en el contexto de cuencas hidrográficas permite entender las interrelaciones entre los recursos y las condiciones naturales tales como el relieve, suelo, clima y la vegetación, así como las formas en que la población se organiza para apropiarse de los mismos y los impactos que generan las actividades humanas en la cantidad, calidad y temporalidad del agua (Cotler & Priego, 2003). El enfoque de cuenca permite evaluar y explicar las externalidades que resultan de los diferentes usos del suelo. Por esta razón se considera que el estudio del territorio, desde el enfoque de cuenca hidrográfica, constituye un marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos suelo, agua y vegetación (Cotler & Priego, 2003). En este documento se presenta un análisis ambiental del territorio con la finalidad de conocer los factores que influyen en la dinámica del comportamiento hidrológico del ecosistema conocido como la cuenca de la Laguna de Atotonilco.

La cuenca de la Laguna de Atotonilco se encuentra al Sur Poniente del Área Metropolitana de Guadalajara. Oficialmente es conocida como "Laguna de Villa Corona" y, para propósitos de estudios técnicos hidrológicos, a su cuenca de captación la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) la ha subdividido como cuenca Laguna de Villa Corona A (337 $km^2$) y cuenca Laguna de Villa Corona B (390 $km^2$), por lo que la extensión total de su

cuenca de captación es de aproximadamente 727 km$^2$ (DOF, 2013, 2016). La laguna tiene una extensión variable, siendo su máxima superficie de 2,252 ha. La superficie del cuerpo de agua cambia de forma importante a lo largo del año en función de los regímenes de precipitación pluvial y los aportes hídricos que se dan en la cuenca. En esta región destaca una serie de lagunas alineadas de Norte a Sur de características endorreicas y de origen tectónico conocidos como: Laguna de Atotonilco, San Marcos, Sayula, Zapotlán y Cajititlán (INEGI, 2001; SADER, 2019) (ver Figura 1.1). De estas lagunas presentan intermitencia las tres primeras y pueden considerarse dentro de la clasificación de lagos playa debido a sus características geomorfológicas, sedimentológicas y de salinidad del agua (Last, 2002; Arche, 2007).

**Figura 1. 1.** Localización geográfica de las cuencas cerradas de Atotonilco, Cajititlán, San Marcos, Sayula y Zapotlán, en el estado de Jalisco
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

En el Occidente de México existen otras lagunas endorreicas de características similares como la Laguna de Santa Ana en el estado de Zacatecas, la cual ha sido previamente estudiada (Gaytán *et al.*, 2008, 2009). No obstante que la Laguna de Zapotlán es un cuerpo de agua somero, esta sigue siendo perene, sin embargo, hoy se encuentra amenazada su existencia debido a la sobreexplotación del recurso hídrico en su cuenca de captación y al avanzado proceso de eutrofización debido a las descargas de aguas residuales no tratadas (Ortiz-Jiménez *et al.*, 2005). Esta misma situación lo experimenta la Laguna de Cajititlán, en donde las descargas de agua residuales de las plantas de tratamiento aún siguen siendo contaminantes y no cuentan con un proceso terciario para la remoción de nutrientes. Aunado a este problema se presenta el arrastre de productos agroquímicos de las zonas agrícolas; durante las lluvias incrementan la concentración de nitrógeno y fósforo produciendo la permanente abundancia de algas verde-azules en la laguna (de Anda *et al.*, 2019).

Desde el punto de vista hidrológico, la Laguna de Atotonilco se considera dentro de la Región Hidrológica Administrativa Lerma-Chapala-Santiago (RH-12), en la cuenca Lago de Chapala (RH-12D). La cuenca Lago de Chapala se localiza al Occidente de la RH-12, y al Sur de la ciudad de Guadalajara, con un área aproximada de 4,968.49 km$^2$ dentro del estado, equivale al 6.20% de la superficie estatal. Colinda al Norte con la cuenca E (Río Santiago-Guadalajara), al Este con la cuenca C (Río Lerma-Chapala), al Sur con la cuenca J (Río Tepalcatepec) de la RH-18, cuenca A (Río Coahuayana) y cuenca B (Río Armería) de la RH-16, esta última también colinda al Oeste con la cuenca A (Presa la Vega-Cocula) de la RH-14 (INEGI, 2001) (ver Figura 1.2).

En conjunto, esta cuenca se integra por cuerpos de agua, de los cuales sobresale el Lago de Chapala y las lagunas intermitentes Atotonilco, San Marcos, Zacoalco y Sayula; la pendiente que presenta es moderada, dado que el relieve del área está rodeado por sierras, siendo la más importante la Sierra El Madroño localizada al Oriente de la cuenca (INEGI, 2001). Por definirse como una cuenca endorreica depende de la captación de agua de las sierras aledañas y a su vez es una zona importante para la recarga de los mantos freáticos que se encuentran en el área, permitiendo así que

diversos manantiales, aguas termales, aguas profundas y otros sitios de captación de agua mantengan sus niveles. Además, debido a sus características geomorfológicas y físicas, este cuerpo de agua actúa como un regulador de temperatura ambiental local, favoreciendo con ello el clima templado y cálido que predomina a nivel local (SEMADET, 2009).

**Figura 1. 2.** Límites de las regiones hidrológicas comprendidas en el estado de Jalisco (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Entre las funciones ambientales que destacan en la cuenca de la Laguna de Atotonilco se pueden mencionar la recarga hídrica del acuífero local, afloramiento de manantiales en la zona, control de inundaciones, protección y refugio de flora y fauna silvestre. Entre las actividades económicas destacan la pesca comercial, las actividades ecoturísticas (ver Figura 1.3.), y constituye un área de esparcimiento, descanso y recreación para los habitantes locales, regionales, y un soporte importante para el trabajo turístico debido a las aguas termales que afloran en algunas comunidades ribereñas (ver Figura 1.4) (SEMADET, 2005). Es una laguna importante debido a la afluencia de una gran cantidad de aves acuáticas endémicas y migratorias, se han avistado más de 100 especies, además es el hábitat de especies de peces, anfibios, reptiles y mamíferos, algunas de estas requieren de protección especial, se encuentran amenazadas o están en peligro de extinción de acuerdo con la lista de la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMADET, 2009).

**Figura 1. 3.** Actividades de esparcimiento (vehículos tipo *raiser*) en los caminos colindantes a la laguna
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Figura 1. 4.** Balnearios con aguas termales localizados en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Son escasos los estudios publicados sobre este cuerpo de agua y su cuenca, siendo el más destacado el de la SEMADET (2016) con motivo de la designación Ramsar de esta laguna como humedal de importancia internacional recibida el 16 de marzo del año 2006, asignándole al sitio el número 1607 (CONANP, 2006). Debido a que en los últimos años la laguna ha presentado con mayor frecuencia un proceso de intermitencia y se ha observado una disminución en los volúmenes de captación, recientemente la SADER (2019) desarrolló un diagnóstico para el establecimiento de una estrategia de recuperación y preservación de la laguna que comprende una descripción de los aspectos hidrológicos, del medio físico, los usos del agua superficial y el balance hidráulico de la cuenca. Asimismo, se emiten algunas recomendaciones para la restauración y conservación de este importante cuerpo de agua.

El presente estudio tiene por objetivo integrar el conocimiento que se ha generado en la cuenca y en el cuerpo de agua, generar nuevos conocimientos para comprender los procesos hidrológicos que afectan el régimen natural de escurrimiento y los volúmenes de almacenamiento de agua en este humedal para el sustento y conservación de las especies de flora y fauna, y cómo profundizar en los estudios desarrollados previamente por la SEMADET (2005, 2009, 2016), CONANP (2006) y SADER (2019) con la finalidad de proponer estrategias para recuperar las funciones ambientales que gradualmente ha ido perdiendo este importante ecosistema.

En este primer capítulo se describen los procesos naturales de la cuenca de la Laguna de Atotonilco, la cual por sus características morfológicas pertenece a las denominadas cuencas endorreicas; se hace especial énfasis en la descripción de sus características climáticas, fisiográficas, edafológicas, geológicas e hidrológicas. Los aspectos relacionados con la biodiversidad se abordan en un capítulo separado dentro del libro dada la relevancia que esta tiene en el estudio de este ecosistema como hábitat de una cantidad importante de especies y poblaciones de aves endémicas y migratorias, razón por la cual recibió la designación como sitio Ramsar (CONANP, 2006; SEMADET, 2016).

## 1.2. Localización de la cuenca

La cuenca de la Laguna de Atotonilco se localiza en el Occidente de la República Mexicana, en la región central del estado de Jalisco en las coordenadas geográficas 20°16’ 35.4” a 20°36’ 51.1” de Latitud Norte y 103° 43’ 54.2” a 103° 25’ 30.3” de Longitud Oeste; de acuerdo con este estudio cubre una superficie de 75,532 ha (755.32 km$^2$) y abarca parcialmente los municipios de Acatlán de Juárez, Jocotepec, Tala, Tlajomulco de Zúñiga y Villa Corona de la región Centro-Sur del estado de Jalisco (ver Tabla 1.1 y Figura 1.5).

**Tabla 1. 1.** Superficie compartida de cada municipio en la cuenca

| Municipio | Superficie compartida ($km^2$) | Superficie compartida (%) |
|---|---|---|
| Tlajomulco de Zúñiga | 193.14 | 25.57% |
| Acatlán de Juárez | 164.35 | 21.76% |
| Villa Corona | 162.93 | 21.57% |
| Jocotepec | 127.26 | 16.85% |
| Tala | 100.23 | 13.27% |
| Zapopan | 4.76 | 0.63% |
| Zacoalco de Torres | 2.65 | 0.35% |
| **Total** | **755.32** | **100.00%** |

**Figura 1. 5.** Localización de la cuenca de la Laguna de Atotonilco en México (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 1.3. Descripción de la cuenca ampliada de la Laguna de Atotonilco-San Marcos

La cuenca de la Laguna de Atotonilco bajo condiciones muy particulares de régimen de lluvias en la región. En el pasado reciente esta laguna ha incrementado su nivel de agua hasta conectarse con la Laguna de Zacoalco, tal como se muestra en los registros de imágenes de Google Earth del 30 de diciembre de 1992. Cuando existe esta conexión el área de la cuenca se incrementa a 121,853.00 ha (1,218.53 $km^2$), (ver Figura 1.6).

**Figura 1. 6.** Mapa descriptivo de la cuenca ampliada de la Laguna de Atotonilco-San Marcos (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia, extraída de la imagen de Google Earth del año 1992)

Bajo estas condiciones la cuenca se amplía temporalmente integrando parcialmente la superficie de 12 municipios del estado de Jalisco (ver Figura 1.7). La Tabla 1.2 muestra la ocupación porcentual de cada municipio dentro del territorio de la cuenca hidrográfica ampliada.

**Figura 1.7.** Mapa descriptivo de la cuenca ampliada de la Laguna de Atotonilco (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 1. 2.** Superficie compartida de cada municipio en la cuenca ampliada de la Laguna de Atotonilco

| Municipio | Superficie compartida km² | Superficie compartida % |
|---|---|---|
| Zacoalco de Torres | 342.14 | 28.07% |
| Tlajomulco de Zúñiga | 193.14 | 15.85% |
| Acatlán de Juárez | 171.41 | 14.06% |
| Villa Corona | 163.62 | 13.42% |
| Jocotepec | 127.90 | 10.49% |
| Tala | 100.23 | 8.22% |
| Atemajac de Brizuela | 81.27 | 6.67% |
| Techaluta de Montenegro | 27.11 | 2.22% |
| Tapalpa | 6.91 | 0.56% |
| Zapopan | 4.76 | 0.39% |
| Amacueca | 0.03 | 0.002% |
| Teocuitatlán de Corona | 0.01 | 0.001% |
| **Total** | **1,218.53** | **100.00%** |

## 1.4. Provincias fisiográficas

La fisiografía proporciona una visión general de las formas del relieve, identificadas y definidas a partir del análisis integral de la información topográfica, geológica, hidrológica y edafológica, para formar unidades relativamente homogéneas, representado las diferentes provincias y subprovincias en las que se ha dividido al país, de acuerdo con su geología y topografía (INEGI, 2020).

El estado de Jalisco se encuentra dividido por cuatro de las varias provincias que conforman México (III Sierra Madre Occidental, IX Mesa del Centro, X Eje Neovolcánico y XII Sierra Madre del Sur). La zona del acuífero se encuentra localizada en la provincia denominada **Eje Neovolcánico**, cubriendo un 34.98% del total del territorio estatal; por su parte, este último se divide en subprovincias perteneciendo a la denominada **subprovincia**

**de Chapala** (con un 17.32% de área del total de ocupación de la provincia en el estado) (CONAGUA, 2020a).

Los derrames basálticos y la mayoría de las rocas que se extienden en todo el eje Neovolcánico se caracterizan por una alta permeabilidad que varía en un amplio rango, controlado principalmente por su grado de fracturamiento, la presencia de tubificaciones en los derrames y la intercalación de material escoreáceo (CONAGUA, 2020a).

En el subsuelo de los valles, las rocas consolidadas y no fracturadas abajo del nivel regional de saturación forman barreras para el flujo de agua subterránea, como los derrames andesíticos que funcionan como basamento geohidrológico. Los derrames de rocas no fracturadas intercaladas con relleno aluvial en diferentes profundidades forman acuíferos locales independientes en rocas adyacentes. En contraste, la mayoría de las rocas de composición riolítica, presente en la parte Norte de esta región y que se extiende dentro de las cuencas aluviales en el Sur, forman acuíferos de gran densidad y de permeabilidad moderada debido a su fracturamiento (CONAGUA, 2020a).

En las partes más bajas de las cuencas, los acuíferos en derrames volcánicos fracturados están cubiertos por depósitos lacustres y aluviales de menor permeabilidad, por lo que son acuíferos confinados o semiconfinados y se caracterizan por un coeficiente de almacenamiento bajo, debido a su virtual incompresibilidad (CONAGUA, 2020a).

Los piroclastos tienen una alta porosidad, con permeabilidad baja; en la zona de saturación funcionan como acuitardos, los cuales en escala regional pueden producir o transmitir grandes cantidades de agua a los acuíferos adyacentes. Estos materiales abundan en la base de los volcanes, con espesor menor, son menos porosos y más permeables que los de arriba (CONAGUA, 2020a).

## 1.5. Fisiografía de la cuenca

Desde el punto de vista fisiográfico, la cuenca de la Laguna de Atotonilco está incluida dentro la provincia fisiográfica de la **Faja Volcánica Transmexicana** (FVTM), y abarca una porción de la subprovincia Chapala. La subprovincia de Chapala posee una cantidad significativa de fallas volcánicas

asociadas con manifestaciones volcánicas y estructuras de graben, presentando a los 1,500 m s.n.m., el mayor lago de México, cuyas aguas ocupan un enorme graben ubicado entre sistemas de grandes fallas Este-Oeste y otras más pequeñas dirigidas burdamente de Norte a Sur. Aquí los procesos de vulcanismo se desarrollaron a lo largo de algunas líneas de fallas, lo que elevó las sierras que rodean la laguna, dando como resultado un paisaje de origen unitario, pero con morfologías combinadas que le confieren una notable singularidad a la subprovincia. En esta subprovincia se pueden distinguir cuatro regiones o sectores:

a) La región Occidental se caracteriza por presentar importantes sistemas de fallas con direcciones Noroeste-Sureste y Norte-Sur, que han generado estructuras de graben con esos mismos rumbos y que forman los vasos de las lagunas Atotonilco, Zacoalco, San Marcos y Sayula, situados a una elevación de 1,350 m s.n.m.

b) La región Este o de La Ciénega de Chapala, conformada por el Lago de Chapala y las Sierras de Laderas de Escarpa de falla que lo circundan, así como su extensión cenagosa. El lago, que es bastante somero, es mantenido fundamentalmente por los aportes del Río Lerma al que recibe en el extremo Oriental.

c) La región de las sierras afalladas y llanos al Norte de los lagos.

d) La región de las sierras afalladas y la región de lomeríos al Sur de los lagos.

Se caracteriza, además, por la presencia de varios aparatos volcánicos con actividad termal, y por el hecho de que sus suelos se encuentran saturados de elementos piroclásticos y aluviales que aparecen sobre pisos sedimentarios-metamórficos, presentando fallas y fracturas activas, mismas que han separado las cuencas cerradas de San Marcos de la del Lago de Chapala; dominan las

rocas ígneas extrusivas del Terciario y algunas del Cuaternario, producto de la gran actividad volcánica que atravesó al país de Este a Oeste a la altura de los paralelos 20° y 21° y que dio origen a finales del Mesozoico y principios del Cenozoico a esta provincia (Mahood, 1981; Allan, 1986; Ferrari *et al.*, 2000).

La cuenca de la Laguna de Atotonilco es una cuenca sedimentaria asociada a la historia geológica del Lago de Chapala en donde se asume la existencia de un gran lago prechapálico cuya extensión alcanzó a abarcar otras depresiones como lo son las cuencas de las lagunas de Cajititlán, San Marcos y Sayula, coincidiendo también con la presencia de grandes cuencas lacustres antiguas asociadas a la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (ver Figura 1.8). Esta hipótesis se confirma con el patrón de distribución regional de los peces de la familia Atherinidae (pescados blancos y charales). Estudios estratigráficos demuestran que en la zona se encuentran áreas de sedimentos lacustres superpuestos a estratos de calizas marinas del Cretácico y a materiales piroclásticos del Plioceno superior y medio (Estrada *et al.*, 1983; SISR, 2011).

**Figura 1. 8.** Marco tectónico del centro-Sur de México que muestra la ubicación de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)
(Fuente: Macias, 2005)

## 1.6. Unidades de paisaje

En una porción importante del territorio de la cuenca dominan las montañas y lomas constituidas por andesitas y basaltos (31.17%) como resultados de los eventos volcánicos del pasado. Le siguen en orden de importancia las montañas, colinas, lomas y valles constituidos por riolita y toba volcánica (21.90%), estas últimas formadas por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante las erupciones volcánicas. Las montañas, colinas, lomas y valles constituidos de depósitos aluviales abarcan el 28.66% del territorio. Estos son sedimentos detríticos que han sido transportados y sedimentados por las corrientes de agua que proceden de las montañas y que alcanzan las partes bajas de las mismas (aluvión). Otros elementos igualmente de origen volcánico se encuentran presentes en menores proporciones (ver Tabla 1.3 y Figura 1.9) (Mahood, 1981; Allan, 1986; Ferrari *et al.*, 2000).

**Tabla 1.3.** Unidades de paisaje en la cuenca

| Unidades de paisaje | Clases | Superficie km² | Porcentaje % |
|---|---|---|---|
| Montañas constituidas por andesita y basaltos | I | 211.58 | 28.01% |
| Montañas constituidas por arenisca | II | 3.01 | 0.40% |
| Montañas constituidas por brecha volcánica | III | 15.92 | 2.11% |
| Montañas constituidas por depósitos aluviales | IV | 28.32 | 3.75% |
| Montañas constituidas por riolita y toba | V | 89.38 | 11.83% |
| Montañas constituidas por roca extrusiva ácida | VI | 16.14 | 2.14% |
| Montañas constituidas por vítrea | VII | 18.58 | 2.46% |
| Lomas constituidas por toba | VIII | 49.02 | 6.49% |
| Lomas constituidas por andesita y basaltos | IX | 23.84 | 3.16% |
| Lomas constituidas por arenisca | X | 7.53 | 1.00% |
| Lomas constituidas por brecha volcánica | XI | 13.18 | 1.74% |
| Lomas constituidas por depósitos aluviales | XII | 42.23 | 5.59% |
| Lomas constituidas por roca extrusiva básica | XIII | 1.51 | 0.20% |
| Colinas constituidas por areniscas | XIV | 1.65 | 0.22% |
| Colinas constituidas por brecha volcánica | XV | 2.58 | 0.34% |
| Colinas constituidas por depósitos aluviales | XVI | 56.96 | 7.54% |
| Colinas constituidas por toba | XVII | 25.76 | 3.41% |
| Valles constituidos por basalto y brecha volcánica | XVIII | 2.06 | 0.27% |
| Valles constituidos por depósitos aluviales | XIX | 80.91 | 10.71% |
| Valles constituidos por toba | XX | 1.28 | 0.17% |
| Valles subhorizontales constituidos por depósitos aluviales | XXI | 8.04 | 1.06% |
| Áreas urbanas | | 27.06 | 3.58% |
| Cuerpos de agua | | 28.77 | 3.81% |
| **Superficie total** | | **755.32** | **100.00%** |

**Figura 1.9.** Unidades de paisaje fisiográfico en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 1.7. Relieve

Relieve es el conjunto de formas que resaltan sobre un plano o superficie. El relieve de una cuenca consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que la conforman. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles, llanuras y mesetas (IMTA, 2009).

El relieve es el factor principal para delimitar un paisaje. Por tanto, su análisis es fundamental para segmentar las unidades de paisaje de un territorio y constituye, por ello, la base de la geomorfoedafología. El análisis morfoestructural del relieve se ocupa de las formas de las laderas, como unidades básicas de segmentación del territorio (Guilarte *et al.*, 1995).

El relieve de la cuenca en las inmediaciones de la Laguna de Atotonilco es el más plano de la cuenca ocupando un 21.3% de su superficie y sus elevaciones son del orden de 1,400 m s.n.m. o menores a estas. Las elevaciones entre los 1,400 y 1,700 m s.n.m. se distinguen por ocupar más de la mitad del territorio alcanzando el 58.6 % de su superficie. Las elevaciones por arriba de los 1,700 m s.n.m., que predominan en las zonas serranas, dominan en un 20.2% de la superficie de la cuenca (ver Figura 1.10).

Dentro de estas elevaciones predominan el complejo volcánico La Primavera al Norte, con la Sierras de El Madroño, en donde destaca el cerro del mismo nombre con una elevación del orden de 2,000 m s.n.m.; el área estatal de protección hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos al Este; la Sierra La Difunta (2,200 m s.n.m.) y el Cerro Los Novillos (2,000 m s.n.m.) al Sur y el Cerro El Timbinal (1,600 m s.n.m.) y el Cerro El Monte Negro (1,900 m s.n.m.) al Oeste (Figura 1.10).

Es importante destacar que los edificios volcánicos de Cerro Viejo, cuya elevación alcanza los 2,970 m s.n.m., y el Cerro de García, cuya elevación alcanza los 2,760 m s.n.m., localizado en la Sierra La Difunta, no se encuentran dentro de la cuenca; sin embargo, son las estructuras de relieve más importantes cuya presencia domina el relieve del área de estudio (Figuras 1.11 y 1.12).

La Figura 1.13 muestra el perfil altitudinal Norte-Sur de la cuenca, en donde se aprecian cambios de elevación que van desde los 2,000 m s.n.m. en la sierra del complejo volcánico La Primavera hasta elevaciones del orden de los 1,350 m s.n.m., que predominan en la zona lacustre.

**Figura 1. 10.** Mapa de relieves en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Figura 1. 11.** Imagen del complejo volcánico y Área Natural Protegida "Cerro Viejo" (Fuente: IMEPLAN, 2015)

**Figura 1. 12.** Imagen del edificio volcánico Cerro de García tomada desde el Lago de Chapala (Fuente: imagen sin URL en la WEB)

**Figura 1.13.** Perfil transversal Norte a Sur que muestra los principales cambios altitudinales que se presentan en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 1.8. Geomorfología

El sistema de topoformas lo constituyen el conjunto de formas del terreno asociadas a algún patrón o patrones estructurales y/o degradativos (INEGI, 2020). Geomorfológicamente la zona presenta muy pocas topoformas, sólo el Domo de La Primavera al Norte, los volcanes cineríticos distribuidos en diferentes puntos de la zona de análisis y la llanura o planicie en el centro del valle.

El Domo La Primavera se formó aproximadamente hace 120 mil años, como producto del ascenso de una gran masa magmática, provocando un fracturamiento semicircular por donde fluyeron domos y flujos de composición riolítica (Gutiérrez-Negrín, 1988). Posteriormente ocurrieron una serie de eventos explosivos que dieron lugar a los flujos piroclásticos, los cuales se depositaron en los valles circunvecinos. Esta rápida evacuación de la cámara magmática provocó un hundimiento horizontal donde se formó un lago.

Este lago desapareció posteriormente como consecuencia del resurgimiento de la cámara magmática, formándose la sierra como la observamos hoy en día, con emisiones recientes de domos y lavas riolíticas. La zona ha estado sujeta a constantes eventos de vulcanismo y tectonismo en los últimos

70 millones de años, siendo los volcanes, calderas, montañas en bloque, fosas y planicies sus topoformas más representativas (CONAGUA, 2020b).

De manera local, la cuenca de la Laguna de Atotonilco y sus estructuras geohidrológicas se ubican en una fosa tectónica la cual ha estado sujeta a diferentes eventos de vulcanismo, que han producido las diferentes secuencias de rocas que conforman la columna estratigráfica de la zona. El principal rasgo que se aprecia es el Domo La Primera en la porción Norte (CONAGUA, 2020b).

En la parte central del valle se encuentra una planicie, la cual no presenta drenaje superficial, llegándose a presentar zonas de inundación. Esta topoforma es el producto del relleno de material provenientes por la erosión y depósito de materiales volcánicos de las montañas adyacentes (CONAGUA, 2020b).

Para la cuenca de la Laguna de Atotonilco se identificaron cinco clases de topoformas, entre las que destacan por su importancia la zona de montaña del complejo volcánico La Primavera y la Sierra de El Madroño. De acuerdo con la Tabla 1.4, en la cuenca de la Laguna de Atotonilco predominan las montañas (51.37%), seguido de las lomas (20.18%) y colinas (13.25%) y, finalmente, se presentan los valles (15.20%). En esta última clase es donde se localizan las planicies aluviales que dan origen a los dos principales cuerpos de agua que predominan en la cuenca como lo son la Laguna de Atotonilco y la Presa Hurtado (también conocida como Presa Valencia o Laguna de Valencia) (ver Figura 1.14).

**Tabla 1. 4.** Superficie ocupada por las topoformas más relevantes en la cuenca

| Clases | Superficie ha | Superficie % |
|---|---|---|
| Montañas | 388.04 | 51.37% |
| Lomas | 152.42 | 20.18% |
| Colinas | 100.06 | 13.25% |
| Valles | 98.64 | 13.06% |
| Valles subhorizontales | 16.16 | 2.14% |
| **Total** | **755.32** | **100.00%** |

**Figura 1.14.** Mapa de topoformas relevantes en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 1.9. Suelos

El relieve de la zona obedece tanto al ajuste constante del suelo como a la acción de la Faja Volcánica y a otros elementos como son la lluvia, la radiación solar, el frío, los vientos, la erosión, etc. (CONAGUA, 2020a).

Se puede distinguir en la parte central de la cuenca una extensa llanura, misma que fue conformada a través de los años por sedimentos en su mayoría de origen aluvial. Otras partes de la zona deben su forma actual a una intensa actividad volcánica, tal es el caso de la parte Norte de la cuenca, donde se localiza La Sierra de la Primavera, y zonas circundantes a volcanes apagados (Totepec, Mazatepec, etc.). Posteriormente el paisaje se ha ido remodelando por efectos de la erosión. La zona es una serie de valles, cuencas y montañas en bloque, constituidas en su mayoría por rocas ígneas (CONAGUA, 2020a).

Debido a su origen, los tipos de suelos que conforman las zonas altas de la cuenca son adecuados para la presencia de bosque de pino y encino; sin embargo, en las partes bajas las prácticas agrícolas son muy comunes (CONAGUA, 2020a).

De acuerdo con los estudios realizados, los tipos de suelos predominantes en la cuenca son Phaeozem (33.63%) seguido de los Vertisoles (31.80%) y los Regosoles (19.63%). En menor proporción se pueden encontrar suelos de tipo Solonchak (8.47%) así como Luvisoles (3.91%) y Cambisoles (1.30%). En mucho menor proporción, menor al 1% de superficie de la cuenca, también se han identificado suelos del tipo Andosol, Fluvisol, Gleysol y Litosol (ver Tabla 1.5 y Figura 1.15).

Los Phaeozem (del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemlja*, tierra) también se forman sobre material no consolidado. Se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques. Son suelos oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que son muy utilizados en agricultura de temporal; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus principales limitantes. Se utilizan intensamente para la producción de granos (soya, trigo y cebada, por ejemplo) y hortalizas, y

como zonas de agostadero cuando están cubiertos por pastos. En México se distribuyen en porciones de la Faja Volcánica Transmexicana, la Sierra Madre Occidental, la Península de Yucatán, Guanajuato y Querétaro, principalmente, ocupando el 11.7% de México (SEMARNAT, s/f).

Los Vertisoles ocupan el 8.3% de México y se consideran los suelos más productivos de México. Son suelos de climas semiáridos a subhúmedos y de tipo mediterráneo, con marcada estacionalidad de sequía y lluvias. La vegetación natural que se desarrolla en ellos incluye sabanas, pastizales y matorrales. Se pueden encontrar en los lechos lacustres, en las riberas de los ríos o en sitios con inundaciones periódicas. Se caracterizan por su alto contenido de arcillas que se expanden con la humedad y se contraen con la sequía, lo que puede ocasionar grietas en esta última temporada. Esta propiedad los vuelve fértiles, pero difíciles de trabajar debido a su dureza durante el estiaje y muy pegajosos en las lluvias (SEMARNAT, s/f; Torres-Guerrero *et al.*, 2016).

**Tabla 1. 5.** Unidades edafológicas predominantes en la cuenca

| Unidades edafológicas | Superficie km$^2$ | Superficie % |
|---|---|---|
| Andosol | 4.90 | 0.64% |
| Cambisol | 9.80 | 1.30% |
| Phaeozem | 254.00 | 33.63% |
| Fluvisol | 4.40 | 0.58% |
| Gleysol | 0.10 | 0.02% |
| Litosol | 0.10 | 0.02% |
| Luvisol | 29.50 | 3.91% |
| Regosol | 148.30 | 19.63% |
| Solonchak | 63.90 | 8.47% |
| Vertisol | 240.20 | 31.80% |
| **Total** | **755.32** | **100.00%** |

Los Regosoles de zonas áridas tienen escasa vocación agrícola; sin embargo, su uso depende de su profundidad, pedregosidad y fertilidad, por lo que sus rendimientos son variables (FAO, 2009). En México, las mayores extensiones se encuentran en la Sierra Madre Occidental y del Sur y en la Península de Baja California, ocupando con ello el 13.7% de México. Las variantes más comunes en el territorio son los Regosoles eútricos y calcáricos que se caracterizan por tener una capa ócrica, que cuando se retira la vegetación, se vuelve dura y costrosa, lo que impide la penetración del agua hacia el subsuelo y dificulta el establecimiento de las plantas. Esta combinación (escasa cubierta vegetal y baja infiltración de agua al suelo) favorece el escurrimiento superficial y con ello la erosión (SEMARNAT, s.f.).

Los suelos Luvisoles presentan una connotación de suelos con una diferenciación pedogenética de arcilla (especialmente migración de arcilla). El material parental presenta una amplia variedad de materiales no consolidados incluyendo till glaciario y depósitos eólicos, aluviales y coluviales. Su ambiente se caracteriza por pendientes llanas o suavemente inclinadas en regiones templadas frescas y cálidas con estación seca y húmeda marcadas. El manejo y uso se da en zonas templadas donde se cultivan ampliamente granos pequeños; en áreas en pendiente, se usan para huertos y pastoreo, las pendientes superiores frecuentemente erosionadas se usan para pastoreo extensivo o cultivos forestales y son moderadamente susceptibles a la erosión (INEGI, 2006).

Los Cambisoles presentan por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidente por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato, el material parental es de textura media a fina derivado de un amplio rango de rocas, su ambiente son los terrenos llanos a montañosos en todos los climas; y con un amplio rango de tipo de vegetación. Los Cambisoles son comunes en áreas con erosión geológica activa, donde pueden ocurrir en asociación con suelos tropicales maduros, este tipo de suelo presenta una moderada a alta susceptibilidad a la erosión (INEGI, 2006).

**Figura 1.15.** Mapa de unidades edáficas en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Como puede apreciarse en la Figura 1.15, en la parte de la Laguna de Atotonilco predominan suelos del tipo Solonchak. Este tipo de suelo ocupa el 1.8% de México (SEMARNAT, s.f.). Se distinguen por ser suelos con un alto contenido en sales solubles. Se trata de un grupo de suelos representativos de las regiones áridas y semiáridas del planeta. La redistribución de carbonatos y yeso resulta ser un mecanismo importante para la diferenciación de horizontes en los suelos de las zonas de secas. Las sales solubles pueden acumularse a cierta profundidad o en áreas con un nivel freático cercano a la superficie del terreno. Las sales acumuladas pueden, a menudo, señalar la presencia de estratos geológicos más profundos de origen marino (cloruros) o sedimentos volcánicos (sulfatos) (Ibáñez & Manríquez-Cosio, 2013).

## 1.10. Permeabilidad del suelo

La permeabilidad del suelo describe cómo el agua (u otro líquido) y el aire pueden moverse a través del suelo. En el caso de la lluvia o el riego, el agua se mueve con mucha facilidad por suelos muy permeables y muy lentamente por suelos de baja permeabilidad. La permeabilidad de un suelo se puede determinar calculando su tasa de infiltración (Angelone *et al.*, 2006).

Los suelos con texturas arenosas tienen grandes espacios porosos que permiten que la lluvia drene muy rápidamente a través del suelo. Se sabe que los suelos arenosos tienen una alta permeabilidad, lo que da como resultado altas tasas de infiltración y buen drenaje. Los suelos de textura arcillosa tienen pequeños espacios porosos que hacen que el agua drene lentamente a través del suelo. Se sabe que los suelos arcillosos tienen baja permeabilidad, lo que resulta en bajas tasas de infiltración y mal drenaje (Angelone *et al.*, 2006).

A medida que más agua llena el espacio de los poros, el aire se expulsa. Cuando todos los espacios porosos del suelo están llenos de agua, el suelo se satura. Las raíces de muchos tipos de plantas no pueden sobrevivir en suelos saturados. El suelo saturado en terreno llano produce agua estancada que puede causar inundaciones. Los suelos saturados en terrenos inclinados

producen escurrimientos y pueden conducir a un mayor volumen de agua que ingresa a una masa de agua. Esta condición puede provocar erosión e inundaciones, así como un mayor nivel de contaminantes que ingresan al cuerpo de agua (Angelone *et al.*, 2006).

El nivel freático es la superficie subterránea donde los suelos saturados de agua se encuentran con los suelos saturados de aire. La profundidad de esta zona cambia de una estación a otra y de un año a otro debido a que las lluvias y la vegetación cambian; en los años más húmedos el nivel freático se acerca a la superficie (Angelone *et al.*, 2006).

La permeabilidad del suelo suele medirse en función de la velocidad del flujo de agua a través de este durante un periodo determinado. Generalmente se expresa como una tasa de permeabilidad en centímetros por hora (cm/h), milímetros por hora (mm/h) o centímetros por día (cm/d), o bien como un coeficiente de permeabilidad en metros por segundo (m/s) o en centímetros por segundo (cm/s) (FAO, s.f.).

Para determinar la permeabilidad dentro de la cuenca a falta de información específica, con apoyo en los servicios del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), se clasificaron los suelos de la cuenca en estudio, en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables), y C (suelos casi impermeables), y se siguieron los pasos establecidos Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, toma en cuenta el uso actual del suelo, se obtiene el valor del parámetro K (permeabilidad) (DOF, 2015).

De acuerdo con la Tabla 1.6 y la Figura 1.16, los suelos de la cuenca de la Laguna de Atotonilco son de media a alta capacidad de infiltración con una tasa de permeabilidad clasificada como "lenta" (0.24 – 0.30 cm/h), lo que permite suponer que en el periodo de lluvias se favorecen los escurrimientos superficiales y subsuperficiales hacia los arroyos y canales construidos en la cuenca y cuyo destino final es la laguna, esto ha permitido mantener el régimen hídrico de la misma durante los meses donde se presenta las preci-

pitaciones. Sin embargo, existen retenciones de agua en bordos y presas esto se reflejará en un menor volumen de escurrimiento hacia el vaso lacustre.

Por otra parte, el azolve de los canales y arroyos que conduce el agua hacia la laguna reduce las posibilidades de captación de los volúmenes de escurrimiento que requiere la laguna para mantener la superficie de agua necesaria para el sustento de la vida acuática.

**Tabla 1. 6.** Índice de permeabilidad de los suelos de la cuenca

| Índice de permeabilidad cm/h | Superficie $km^2$ | Superficie % |
|---|---|---|
| < 0.07 | 2.17 | 0.29% |
| 0.07 – 0.17 | 33.58 | 4.45% |
| 0.17 - 0.22 | 79.41 | 10.51% |
| 0.22 - 0.24 | 81.04 | 10.73% |
| 0.24 - 0.28 | 267.82 | 35.46% |
| 0.28 - 0.30 | 237.89 | 31.50% |
| > 30 | 23.70 | 3.14% |
| Cuerpo de agua | 29.69 | 3.93% |
| **Total** | **755.30** | **100.00%** |

**Figura 1. 16.** Mapa de índices de permeabilidad del suelo en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 1.11. Geología

La cuenca de la Laguna de Atotonilco está comprendida en una pequeña fracción de la Faja Volcánica Transmexicana (ver Figura 1.8), y en la subprovincia fisiográfica Chapala. La actividad geológica en el área se remonta a la era Cenozoica, desarrollándose mayormente a finales del periodo Neógeno, durante la época del Plioceno (hace 5,332 millones de años) y principios el periodo Cuaternario (hace 2,588 millones de años) (Mahood, 1981; Allan, 1986; Allan *et al.*, 1991; Ferrari *et al.*, 2000).

Geológicamente el área está conformada por rocas del tipo ígneo extrusivo, con presencia de rocas sedimentarias y elementos tanto piroclásticos como aluviales, siendo estos últimos los dominantes en el área (con un 33.76% de la superficie total) (ver Tabla 1.7). Las rocas sedimentarias se encuentran en la porción Sur de la cuenca, y corresponden al periodo Neógeno, mientras que los depósitos aluviales se extienden en la parte Este y central de la cuenca y corresponden mayormente a la actividad geológica desarrollada durante el periodo Cuaternario. Las rocas ígneas extrusivas, que se encuentran mayormente en la porción Norte de la cuenca, aunque también se encuentran hacia el Sur y Oeste, se originaron durante la época del Plioceno del periodo Cuaternario (ver Figura 1.17).

Los depósitos aluviales son suelos formados por el depósito de materiales sueltos (como gravas y arenas) provenientes de rocas preexistentes, y que han sido transportados desde su lugar de origen, principalmente por corrientes superficiales de agua. Se incluyen es este grupo también a los depósitos que ocurren en las llanuras de inundación y en los valles de los ríos. En la cuenca cubren principalmente la parte este y central de la cuenca.

**Tabla 1. 7. Litología encontrada en la cuenca**

| Tipo de roca | Superficie km$^2$ | Superficie % |
|---|---|---|
| Roca ígnea extrusiva básica | 2.85 | 0.38% |
| Riolita | 1.22 | 0.16% |
| Roca ígnea extrusiva ácida | 16.58 | 2.19% |
| Andesita | 16.25 | 2.15% |
| Basalto | 222.32 | 29.43% |
| Toba | 172.23 | 22.80% |
| Brecha volcánica | 33.62 | 4.45% |
| Vítrea | 17.90 | 2.37% |
| Arenisca | 12.21 | 1.62% |
| Brecha sedimentaria | 1.09 | 0.14% |
| Residual | 4.06 | 0.54% |
| Aluvial | 255.0 | 33.76% |
| | **755.32** | **100.00%** |

**Figura 1.17.** Mapa de geológico de la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Los basaltos son rocas volcánicas extrusivas básicas que se componen mayormente silicatos, plagioclasas o mezcla de minerales de piroxeno y olivino, con un alto contenido de hierro y cantidades menores de feldespato y cuarzo.

Son de color oscuro (generalmente gris), y son las rocas más abundantes en la corteza terrestre. Se originan por enfriamiento rápido del magma expulsado por los volcanes, por esta razón suele presentar una textura vesicular que conserva los vestigios de burbujas producidas por vapor de agua en expansión generado durante el enfriamiento y la solidificación de la lava, y tienden a cubrir extensas áreas. En la cuenca se localizan principalmente en la parte Oeste y Sur.

Las unidades volcanoclásticas (también llamadas piroclásticas) se forman por agregación de piroclastos (material volcánico arrojado al aire durante una erupción); por ejemplo, la toba volcánica, formada por cenizas; o las ignimbritas, por fragmentos heterogéneos arrastrados por flujo piroclástico. Son clasificadas entre las ígneas volcánicas por la naturaleza de su composición, pero por la forma en que se depositan (en estratos) presentan rasgos y propiedades más característicos de las rocas sedimentarias. En la cuenca se presentan como depósitos consolidados y semiconsolidados, generalmente de tobas pumicíticas, arena y grava pumicítica; se distribuyen en la zona Norte de la cuenca, aunque también se encontró una unidad hacia el Suroeste de esta.

La unidad geológica formada por limnolita-areniscas (está compuesta en dos terceras partes por arena y el resto lo conforman arcillas y limos en proporciones iguales) se encuentra claramente definidas en la porción Sur de la cuenca.

Las brechas volcánicas básicas son conglomerados que están compuestas en un 50% por fragmentos angulares de rocas mayores a 2 mm, y que están constituidas por derrubios de rocas volcánicas que han sido cimentadas por la lava de las erupciones. Las brechas se distinguen de los conglomerados porque sus fragmentos constitutivos son angulares y pueden ser: monogénicas (cuando se encuentran compuestas por elementos de la misma naturaleza) o poligénicas (cuando están compuestas de elementos de diferente naturaleza). En la cuenca se encuentran dos pequeñas unidades en la porción Noreste.

## 1.12. Clima en la zona centro del estado de Jalisco

La climatología explica las condiciones astronómicas, geográficas y meteorológicas influyen en los elementos climáticos. Estos factores externos son: latitud geográfica, la elevación, la capa vegetal, si es que existe. Otros factores meteorológicos pueden ser: dependencia del viento, con respecto a la distribución de presión, radiación solar, temperatura atmosférica, etc. Otro factor importante son los asentamientos humanos (CONAGUA 2020a). El clima en el estado de Jalisco presenta grandes contrastes debido a la conformación variada del relieve y las influencias de masas de agua, tanto marítimas como lacustres (CONAGUA, 2020b). Se encuentran variantes de climas semisecos hacia el Norte y Noreste; climas templados en las partes altas de las sierras; semicálidos en la zona centro y alrededores de Chapala, y climas cálidos a lo largo de toda la costa (CONAGUA, 2020b).

Se puede catalogar al clima que predomina en la zona como semiseco y semicálido, generalmente las estaciones secas son en otoño e invierno, aunque en algunos sectores de la cuenca la primavera transcurre sin precipitación. El régimen de lluvias sucede entre los meses de junio a octubre, sin embargo, pueden existir precipitaciones durante los meses de diciembre y enero (cabañuelas) (CONAGUA, 2020a).

En la zona centro de Jalisco existe un clima semicálido que ha favorecido en gran medida al desarrollo de actividades agrícolas, localizándose también la mayor concentración de áreas urbanas e industriales como la capital del estado, Ocotlán, Atotonilco e industrias textiles, químicas, alimenticias y otras (CONAGUA, 2020b).

El clima general de la zona centro tiene una temperatura media anual mayor a los 18° C y bajo su influencia se desarrollan comunidades vegetales como matorral, subtropical, pastizales, selva baja y bosque de táscate, ocupando una superficie aproximada de un 42% de la superficie del estado de Jalisco (CONAGUA, 2020b). La variante a la que pertenece el clima en la zona es un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano (CONAGUA, 2020b).

Los factores que pueden afectar al clima de la zona centro son los accidentes naturales y su ubicación geográfica, procedentes del Océano Pacífico. Los vientos monzónicos tienen una gran influencia al producir la mayoría de las corrientes húmedas de la región. Los huracanes provenientes del Océano Pacífico generan la mayor parte de las lluvias de la zona. La fisiografía, vegetación y sus charcas pueden influir también (CONAGUA 2020a).

**La evapotranspiración media anual:** De acuerdo con la información recabada en 16 estaciones climatológicas ubicadas dentro y de la zona influencia de la cuenca con datos del periodo 1963-2019, la evapotranspiración media anual es de 942.58 mm. La evapotranspiración máxima se presenta en junio con 136.81 mm y la mínima en los meses de diciembre y enero con 35.75 mm y 34.54 mm respectivamente.

**Temperatura Media Anual:** Para la temperatura media anual se consideraron 16 estaciones climatológicas con un valor promedio de 20.36° C. El mes más caluroso es junio con temperatura de 25.57° C y enero es el mes más frío con una temperatura de 14.8° C. La distribución espacial de la temperatura indica un incremento en la misma conforme la cota topográfica disminuye.

**Precipitación Media Anual:** Durante los meses de junio a octubre se presenta la época de lluvias, siendo julio el mes más lluvioso y enero, febrero, marzo y abril los meses más secos. La distribución espacial de la precipitación varía de 880 mm en las partes más altas de la zona localizadas en la porción NW hasta valores de 700 mm para la porción SE de la cuenca (CONAGUA, 2020b). Con base en los cálculos del sistema de balance hidráulico superficial, se determinó que el volumen promedio anual de lluvia en la zona centro tiene una magnitud de 306,005,270 $m^3$ (855.32 mm), de los cuales escurren 34,639,796 $m^3$ (CONAGUA, 2020b). Con base en los cálculos del sistema de balance hidráulico superficial, se determinó que el coeficiente de infiltración en la zona centro es de alrededor de 14.8% (CONAGUA, 2020b).

## 1.13. Climas predominantes en la cuenca

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen y modificada por García para la República Mexicana, el clima predominante en la cuenca es el semicálido subhúmedo del tipo (A)C(w0)(w), el cual corresponde con los más secos de los subhúmedos y abarca un 77.15% de la cuenca en donde la temperatura media anual es mayor a los 18°C (García-Amaro, 2004). Le sigue en proporción el clima semicálido subhúmedo del tipo (A)C(w1)(w) que corresponde con los intermedios en cuanto al grado de humedad y comprende un 18.61% de la superficie. En mucha menor proporción se presentan igualmente los climas templados subhúmedos de los tipos C(w1)(w) y el C(w2)(w) en donde la temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C, este tipo de climas se presenta en las zonas de montañas de la parte Oeste de la cuenca. Finalmente, el clima semiseco semicálido del tipo BS1hw(w) se presenta mayormente en la planicie que se forma entre la Laguna de Atotonilco y la de Zacoalco de Torres hacia la parte Sur y se caracteriza por presentar temperaturas medias anuales entre los 18°C y los 22°C (ver Figura 1.18).

**Figura 1.18.** Mapa de climas dominantes en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Las precipitaciones promedio mensuales propias de la cuenca con datos de las estaciones climatológicas ubicadas dentro y de la zona influencia de la cuenca para el periodo 1963-2019 se muestran en la Tabla 1.8. De acuerdo con esta

información, la precipitación media anual de la cuenca en este periodo fue de 787.90 mm. El periodo de lluvias se presenta en los meses de junio a octubre alcanzando el máximo de precipitaciones en el mes de julio (ver Figura 1.19).

**Tabla 1. 8.** Régimen de precipitaciones mensuales en la cuenca para el periodo 1963-2019

| Precipitación | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Mínima** | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 47.0 | 114.1 | 101.3 | 59.9 | 1.2 | 0.0 | 0.0 |
| **Media** | 16.4 | 10.6 | 5.7 | 4.7 | 24.1 | 158.0 | 197.4 | 156.0 | 138.8 | 53.1 | 15.5 | 12.2 |
| **Máxima** | 104.0 | 104.6 | 104.9 | 70.8 | 82.5 | 239.0 | 308.1 | 229.6 | 250.7 | 125.0 | 90.8 | 72.6 |

Las temperaturas máximas abarcan un 18.2% de la superficie en la cuenca, llegan a ser mayores a los 20°C y se presentan al Sur de esta, comprendiendo el territorio circundante de la laguna extendiéndose hasta la planicie colindante con las lagunas de Zacoalco y San Marcos.

**Figura 1.19.** Régimen de precipitación promedio mensual en la cuenca para el periodo 1963 a 2019
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Las temperaturas promedio que dominan la mayor extensión de la cuenca oscilan entre los 18 y 20°C y abarcan un 47.5% de su territorio. Las temperaturas que oscilan entre los 16 y 18°C se presentan en un 21.4% del territorio de la cuenca en las zonas de mayor elevación, las cuales están en colindancia con el complejo volcánico La Primavera al Norte, la Sierra de El Madroño, en donde destaca el cerro del mismo nombre con una elevación del orden de 2,000 m s.n.m., el área estatal de protección hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos al Este, la Sierra La Difunta (2,200 m s.n.m.) y el Cerro Los Novillos (2,000 m s.n.m.) al Sur, el Cerro La Timbinal (1,600 m s.n.m.) y el Cerro El Monte Negro (1,900 m s.n.m.) al Oeste (Figura 1.20). A medida que se avanza en estas elevaciones de cerros y sierras las temperaturas continúan disminuyendo hasta alcanzar temperaturas menores a los 14°C, ocupando estas un espacio menor al 12.9% de la superficie total del territorio de la cuenca.

**Figura 1. 20.** Mapa de distribución anual de la temperatura en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 1.14. Hidrología superficial

Los recursos hidrológicos superficiales son proporcionados a la Laguna de Atotonilco por los arroyos: El Zarco, Colorado, La Compuerta y el Corral Falso. Los diferentes afluentes generados por los escurrimientos de las presas de Estipac, la Cañada, La Ciénega, Las Tuzas, El Tecuán, El Molino y por el sistema de presas Hurtado y Bellavista. Parte importante del sistema hidrológico de la Laguna de Atotonilco son los manantiales de aguas termales como Chimulco, Agua Caliente, El Tular, Las Delicias, Las Brisas, Las Termas y Los Veleros, al respecto se mencionan tres manifestaciones geotérmicas mesotermales que van de los 30 °C a los 31 °C en el municipio de Acatlán de Juárez, con gastos entre 3 y 60 litros/s y pH entre 7.8 y 8.2 y manifestaciones mesotermales que van de los 29° C a los 42 °C en el municipio de Villa Corona can gastos de 1 a 20 litros/s y pH entre 7.2 y 8.4, todos de agua bicarbonatada sódica. En ocasiones llegan a secarse completamente las 2,850 ha del humedal (SEMADET, 2005).

Anteriormente existían cuatro arroyos que descendían a la laguna de la montaña Oriente, los cuales traían abundantes corrientes de agua cristalina aún en épocas de estiaje; actualmente estos arroyos solo conducen agua en épocas de lluvia. La cantidad de agua en arroyos y manantiales se ha reducido ocho veces.

En la época de la colonia la laguna era muy extensa: alcanzaba alrededor de las 5,000 ha. La modificación de la cobertura de vegetación es la causa a la que se atribuye una menor cantidad de agua disponible y la presencia de avenidas máximas extraordinarias que arrastran aproximadamente 500,000 toneladas anuales de sedimentos a la laguna (SEMADET, 2005).

De acuerdo con la información reportada en estudios previos, esta cuenca presenta cuatro subcuencas con patrones de drenaje subdendrítico, dendrítico y subparalelo, con densidad hídrica que va de 0.34 en las partes del valle y declives a 3.89 corrientes por $km^2$ en laderas, lo que indica un alto nivel de erosión como fuerza geológica. La Laguna de Atotonilco actualmente presenta una superficie de 2,8 $km^2$ de espejo de agua con una

profundidad promedio de 0.5 m. con una capacidad de 50 $Mm^3$; la laguna al ser endorreica depende de las aportaciones de aguas arriba, que están ligadas a las infiltraciones temporales de lluvia, cuando disminuye el aporte de escurrimiento la laguna resulta afectada (SEMADET, 2005).

Dentro de la cuenca, de acuerdo con la información proporcionada por las cartas topográficas del INEGI, se encontró en lo tocante a la hidrología superficial una corriente permanente que se encuentra en la porción Norte y que corresponde al Arroyo Arietes, el cual presenta una longitud de 4,018.94 m. Se identificaron, además, tres bordos, así como varias corrientes intermitentes y canales; también un par de acueductos, uno superficial (967.38 m) y uno subterráneo (172.32 m), cinco manantiales y 32 corrientes que desaparecen; el patrón general de drenaje de la microcuenca es el de un sistema dendrítico que drena en dirección a la Laguna de Atotonilco (Figura 1.21) (SEMADET, 2005).

La Cuenca Hidrológica **Laguna Villa Corona A**, de acuerdo con la publicación en el DOF (2013), drena una superficie de 337.0 kilómetros cuadrados, y se encuentra delimitada al Norte por la Región Hidrológica número 14 Río Ameca y por la Subregión Hidrológica Río Santiago, al Sur por la Cuenca Hidrológica Laguna Villa Corona B, al Este por la subregión hidrológica Río Santiago y al Oeste por la Región Hidrológica número 14 Río Ameca. Actualmente no cuenta con un volumen disponible a la salida de 0.0 $Mm^3$, es decir, **sin disponibilidad de aguas superficiales** (CEA, 2015a).

La Cuenca Hidrológica **Laguna Villa Corona B**, de acuerdo con la publicación en el DOF (2013) drena una superficie de 390.0 $km^2$, y se encuentra delimitada al Norte por la Cuenca Hidrológica Laguna Villa Corona A, al Sur por la Cuenca Hidrológica Laguna San Marcos Zacoalco, al Este por la Subregión Hidrológica Río Santiago y al Oeste por la Región Hidrológica número 14 Río Ameca. Actualmente no cuenta con un volumen disponible a la salida de 0.0 $Mm^3$; es decir, **no tiene disponibilidad de aguas superficiales** (CEA, 2015a).

**Figura 1. 21.** Mapa de hidrología superficial en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 1.15. Presas, bordos y manantiales

Las principales presas, bordos y afloramientos de agua o manantiales localizados en la cuenca de la Laguna de Atotonilco se muestran en la Figura 1.22 en donde destaca la Presa Hurtado -una de las presas más importantes del estado de Jalisco- la cual se localiza en el municipio de Acatlán de Juárez. Esta presa construida en el año de 1879 con una altura de cortina de 10.35 m, está ubicada en las cercanías del poblado de San Pedro Valencia, en el municipio de Acatlán de Juárez y de acuerdo con el INEGI (2001) tiene un volumen útil de captación de 22.00 $hm^3$. Sin embargo, de acuerdo con el Sistema Nacional de Información del Agua - Monitoreo de las Principales Presas de México, la Presa Hurtado tiene un volumen útil de captación ligeramente mayor alcanzando los 22.62 $hm^3$ (SINA, 2021).

Las presas y bordos de retención localizados en la cuenca cumplen con la función principal de captar el agua pluvial para aprovecharla en agricultura. Destacan en el municipio de Villa Corona los manantiales de aguas termales de Chimulco, Agua Caliente, El Tular, Las Delicias, Las Brisas, Las Termas y los Veleros. Tomando en cuenta como base el inventario de presas de la Comisión Nacional del Agua y considerando como principales presas las que cuentan con un almacenamiento mayor a 0.5 $Mm^3$, las principales presas en Villa Corona son Las Tuzas, La Ciénega, El Tecuán, Montenegro y San Nicolás, las cuales, de acuerdo con la Tabla 1.9, en suma, cuentan con una capacidad de almacenamiento de 5.80 $Mm^3$ (CEA, 2015e).

**Tabla 1.9.** Principales presas en el municipio de Villa Corona

| Nombre oficial | Nombre común | Corriente | Capacidad de operación $Mm^3$ | Uso |
|---|---|---|---|---|
| Las Tuzas | Las Tuzas | Canal alimentador | 3.00 | |
| La Ciénega | LA Ciénega | Arroyo El Saucillo | 0.90 | Riego |
| El Tecuán | El Tecuán | Arroyo La Tinaja | 0.85 | Riego |
| Montenegro | Montenegro | Arroyo sin nombre | 0.55 | Abrevadero |
| San Nicolás | San Nicolás | Río Mazatepec | 0.50 | Abrevadero |
| | | **Total** | **5.80** | |

**Figura 1.22.** Principales presas y bordos localizados en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

# Capítulo 2

## La biodiversidad en la cuenca

Guillermo Barba Calvillo[1]
José de Anda Sánchez[2]
Demetrio Meza Rodriguez[3]
Edgardo Villegas García[2]

[1] Centro Universitario de Ciencias Biológico-Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.

[2] Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.

[3] Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.

## 2.1. Introducción

La cuenca de la Laguna de Atotonilco es una cuenca con baja densidad urbana, ocupa actualmente el 6.42% de su área, sin embargo, predomina notablemente el uso agrícola, el cual ocupa un 59.57% de la superficie que se observa en el mapa de uso de suelo y vegetación con un alto grado de fragmentación de los hábitats naturales derivado de esta actividad (ver Tabla 2.1 y Figura 2.1). Dominan el bosque de pino-encino y la selva baja caducifolia, las cuales ocupan el 28.25% de la superficie siendo menores las demás clasificaciones relacionadas con la vegetación. La superficie ocupada por la Laguna de Atotonilco y la Presa Hurtado ocupan el 3.93% del territorio.

**Tabla 2. 1.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2020

| Uso de suelo | Superficie km$^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|
| Bosque de pino | 2.95 | 0.39% |
| Bosque de encino | 104.51 | 13.84% |
| Selva baja caducifolia | 105.88 | 14.02% |
| Mezquital | 3.30 | 0.44% |
| Vegetación hidrófila | 7.30 | 0.97% |
| Agrícola | 449.97 | 59.57% |
| Pastizal | 0.20 | 0.03% |
| Cuerpo de agua | 29.72 | 3.93% |
| Suelo desnudo | 3.01 | 0.40% |
| Zona urbana | 48.50 | 6.42% |
| **Total** | **755.32** | **100.00%** |

**Figura 2. 1.** Mapa de uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2020 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 2.2. Flora

De acuerdo con diversos documentos analizados y considerando la clasificación propuesta por Rzedowsky (1978), en la cuenca de la Laguna de Atotonilco se encontraron reportados los siguientes tipos de vegetación: Bosque de Pino, Bosque de Encino, Selva Baja Caducifolia, Bosque Espinoso o Mezquital, Pastizal Inducido, Vegetación Hidrófila (acuática, subacuática y semiacuática); además de la asociación vegetal, que tentativamente se denomina "Vegetación Ruderal" o "Secundaria", los cuales se describen a continuación.

## 2.3. Bosque pino y pino-encino

Este tipo de bosques se presentan en zonas donde el estrato arbóreo no ha sido perturbado; particularmente dentro de la cuenca en estudio solo se identificaron pequeñas áreas hacia el límite Noreste de la cuenca, dentro del Área Natural Protegida "La Primavera", en las partes altas de la "Sierra La Primavera". En el estrato arbóreo predominan los pinos *Pinus oocarpa*, *Pinus leiophylla*, *Pinus michoacana*, *Cedro Juniperus deppeana*; así como algunas asociaciones con encinos como *Quercus laeta*, *Quercus spp*; en el estrato arbustivo, el huizache *Acacia farnesiana*, madroño *Arbutus xalapensis*, nopal *Opuntia spp*, agave *Agave spp*; el estrato herbáceo está compuesto de pocas especies durante la época seca, con presencia de elementos que tienen la característica de presentar suculencia. Las especies más representadas son *Atriplex semibaccata*, *Chenopodium mexicanum*, *C. album*, *Drimaria glandulosa*, *Cuscuta aff. Umbellata*, la cual por lo general es parásita de *Heliotropium curassavicum* (SEMARNAP, 2000; González-Elizondo *et al.*, 2012).

Por otra parte, con la llegada de la época de lluvia aumenta el número y abundancia de especies del estrato herbáceo, entre las que destacan la grama común o césped (*Cynodon dactylon*), el estramonio (*Datura stramonium*), la berenjena espinoza (*Solanum tridynamum*), la bella de noche cubana (*Allionia incarnata*), *Mirabilis jalapa*, el dondiego de noche (*Malvastrum bicuspidatum*), la hierba de la garrapata (*Crusea subulata*), la mostaza blanca (*Brassica alba*), la uña de gato (*Martinia annua*), la cinco hojas (*Merremia quinquefolia*), el césped

forrajero (*Agrostis semiverticillata*), la especie de pasto (*Paspalum compersum*), el zacate sedoso (*Setaria geniculata*), la maleza contrayerba o cabezona (*Flaveria trinervia*), la escobilla o rosa amarilla (*Milleria quinqueflora*), la aceitilla morada (*Bidens aequisquama*), la flor de muerto o cinco llagas (*Tagetes lunulata*), la flor clavel de moro (*Tagetes remotiflora*), la margarita rezagada (*Calyptocarpus vialis*), el Acahualillo tropical (*Simsia lagascaeformis*), el almendro de India (*Sterculia foetida*), entre otras (SEMADET, 2009).

Dentro de este tipo de vegetación es común encontrar algunas enredaderas y epífitas como son: *Sarcostemma pannosum*, *S. heterophyllum*, *Gonolobus aff. erianthus*, *Clematis dioica*, *Cocculus diversifolius*, *Convolvulus arvensis* y *Gronovia scandens*. La especie *Cissus cicyoides* es parasitado por el hongo *Mycosyrinx cissi*, el cual deforma por completo a la planta dándole un aspecto característico, conocido en la región como "escoba de bruja". Las epifitas son escasas, entre ellas tenemos *Hylocereus purpusii*, *H. undatus*, *Tyllandsia recurvata* (SEMADET, 2009).

### *2.3.1. Bosque de encino*

En este tipo de agrupaciones los encinos (*Quercus spp.*) son los elementos dominantes. Conforman comunidades densas o más o menos abiertas, alcanzando alturas de 5 a 30 metros, dependiendo del lugar en que se hayan desarrollado; son caducifolios en su mayoría, aunque por temporadas muy cortas. El bosque de encino se encuentra al Noreste de la cuenca de la Laguna de Atotonilco, en las partes bajas de la "Sierra La Primavera" y en el Cerro "Planillas", dentro del municipio de Tlajomulco de Zúñiga, así como hacia el Sureste de la cuenca, dentro del Área Estatal de Protección Hidrológica "Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos", en la "Sierra el Madroño", dentro del municipio de Jocotepec; además en el Cerro "El Monte Negro", ubicado hacia el Oeste de la cuenca, dentro del municipio de Acatlán de Juárez. En este tipo de bosque en el estrato Arbóreo predomina el roble *Quercus magnolofolia*, *Quercus resinosa* y los encinos *Quercus laeta*, *Q. deserticola*, *Q. salicifolia*, *Q. candicans*, *Q. rugosa*; en el estrato arbustivo el huizache Acacia farnesiana, nopal *Opuntia spp*, agave *Agave spp*, ozote *ipomoea intrapilosa* y en el estrato herbáceo diversidad de especies de la familia de las compuestas, además de la aparición de bejucos y epífitas (SEMADET, 2011).

### *2.3.2. Bosque tropical caducifolio y selva baja caducifolia*

Es un bosque de regiones de clima cálido, con una larga y pronunciada temporada de sequía. La característica predominante de este bosque es la pérdida de hojas en forma casi total durante un lapso de 5 a 8 meses, la altura que alcanzan sus árboles fluctúa entre los 5 y 10 m, aunque excepcionalmente puede haber individuos de altura hasta de 15 m. Se distribuye en los límites del área agrícola y las faldas de los cerros que circundan los valles, teniendo un rango altitudinal que va de los 1,600 m s.n.m. a los 1,900 m s.n.m. Este tipo de bosque es el más perturbado debido a que se desarrolla una agricultura en condiciones de ladera conocidas como cuamiles o desmontes, además por el aprovechamiento de algunas de sus especies como postes; palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), rosa panal (*Viguiera quinqueradiata*), ciqua (*Heliocarpus terebintinaceus*); otro factor importante del impacto es su cercanía con los núcleos de población (SEMADET, 2011).

Particularmente este tipo de vegetación se encuentra hacia el lindero Oeste de la cuenca, en las partes bajas del Cerro "El Monte Negro", municipio de Acatlán de Juárez; así como al Suroeste en los Cerros "El Timbal" y "Novillos", dentro del municipio de Villa Corona; además, se ubica debajo del bosque de encino en la "Sierra el Madroño", dentro del Área Estatal de Protección Hidrológica "Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos"; también lo encontramos hacia el Sur de la cuenca, dentro de la "Sierra la Difunta", además de encontrarlo en diversos cerros de baja elevación distribuidos por toda la cuenca, cercanos a las localidades de San Isidro Mazatepec, Cruz Vieja, Cofradía, Bellavista, San Pedro Valencia, así como en las laderas que rodean al vaso lacustre de la Laguna de Atotonilco (Gobierno del Estado de Jalisco, 2001).

La fisonomía de este tipo de vegetación está compuesta por tres estratos: el arbóreo, alcanza una altura promedio de tres a cuatro metros. Se compone de árboles que pierden sus hojas en la época seca del año, como las especies *Bursera fagaroides*, *B. penicillata*, *Ceiba aesculifolia*, *Ipomoea intrapilosa*, *Lysiloma microphylla*, *Plumeria rubra*, *Guazuma ulmifolia*, *Amphipterygium adstringens*, *Stenocereus queretaroensis*, *Isolatocereus dumortierii*, *Heliocarpus terebinthaceus*, *Euphorbia fulva*, *Leucaena esculenta* (SEMADET, 2011).

En menor número se encuentran individuos aislados de *Pachycereus pecten aboriginum*, en la parte Norte de la zona prospera *Gyrocarphus jatrophifolius*, mientras que *Ledenberghia macrantha* está presente sólo en las lomas de mayor altura. Existen eminencias aisladas del género Ficus, cuyos árboles alcanzan alturas de 15 a 25 m, aunque no llegan a constituir un estrato bien definido, se distribuyen principalmente en lugares pedregosos o bordeando nacimientos y embalses de agua. Las especies presentes son *Ficus goldmanii ssp horaliae (inéd.)*, *F. insipida ssp radulina*, *F. padifolia*, *F. cotinifolia ssp cotinifolia* y *Ficus petiolaris* (SEMADET, 2009). Otras especies que comparten este estrato son *Pithecellobium dulce* (que en ocasiones alcanza una altura de hasta 15 m) y *Manguifera indica*, presente sólo en las lomas de menos altura (SEMADET, 2011).

Dentro de este ecosistema se encuentran algunas comunidades bien definidas de árboles que, por su dominancia, se conocen como huajeras, en el Cerro La Lima cerca de El Molino, por la ladera Sur del Cerro Viejo al Norte del potrero de la Cruz (El Tempisque) y la Cruz de Zapotitán, entre otros lugares (SEMADET, 2011).

Otras comunidades que se pueden ver son la agrupación de tepehuajes (Lysiloma acapulcense, tepehuajillos (*Lysiloma microphyla*) como las más definidas. En el Cerro Viejo, por el lado de Tlajomulco, la perturbación de este bosque es evidente por la presencia de una planta característica de la vegetación secundaria, como lo es el "la jarilla", que es un arbusto del género de la familia *Zygophyllaceae* (SEMADET, 2011).

El estrato arbustivo está compuesto por individuos que no sobrepasan los 2 a 2.5 m de altura, entre ellos tenemos a *Iresine calea*, *Tournefortia hartwegiana*, *Cnidoscolus spinosus*, *Opuntia fuliginosa*, *O. Atropes*, *O. aff. joconostle*, *Fouquieria formosa*, *Agave angustifolia*, *Bursera bipinnata*, *Coursetia glandulosa*, *Abutilon simulans*, *Thevetia ovata* y *Plumbago scandens* (SEMADET, 2011).

El estrato herbáceo está compuesto por un número muy pobre de especies durante la época seca, entre las que se encuentran *Abutilon reventum*, *Cheilanthes sinuata* y *Mammillaria scrippsiana*. Con la llegada de las lluvias el número de especies aumenta, destacan los helechos como *Pellaeax oaxacana*,

*Cheilanthes lozanii* y *Bommeria pedata*. Además, miembros de familias como *Solanum diflorum*, *S. cardiophyllum*, *Hibanthus humilis*, *Commelina pallida*, *Anoda crenatiflora*, *Mirabilis jalapa*, *Allionia incarnata*, *Sporobolus atrovirens*, *Flaveria trinervia*, *Talinum paniculatum*, *Setaria adhaerens*, *Nissolia microptera*, *Eupatorium betonicifolium*, *Calyptocarpus viales* y *Cyrcium horrydulum*. Las enredaderas son frecuentes dentro de este tipo de vegetación, como *Clematis dioica*, *Cardiospermum alicacabum*, *Ipomoea purpurea*, *I. parasitica*, *Sechiopsis triquetra*, *Quamoclitl gracilis*, *Pisoniella arborescens* y *Cissus sicyoides* (SEMADET, 2009).

En la zona periférica del humedal Laguna de Atotonilco este tipo de vegetación se presenta donde el suelo es somero y bien drenado como en la parte alta de las lomas; cubre las laderas que rodean al vaso. Su fisonomía está compuesta por tres estratos: el arbóreo alcanza una altura promedio de 3-4 m. Se compone de árboles que pierden sus hojas en la época seca del año como *Bursera fagaroides, B. penicillata, Ceiba aesculifolia, Ipomoea intrapilosa, Lysiloma microphylla, Plumeria rubra, Guazuma ulmifolia, Amphipterygium adstringens, Opuntia fuliginosa, Stenocereus queretaroensis* y *Isolatocereus dumortierii*. En menor número se encuentran individuos aislados de *Pachycereus pecten aboriginum*, en la parte Norte de la zona prospera *Gyrocarphus jatrophifolius*, mientras que *Ledenberghia macrantha* está presente sólo en las lomas de mayor altura. Existen ejemplares aislados del género Ficus, cuyos árboles alcanzan alturas de 15-25 (30) m., aunque no llegan a constituir un estrato bien definido, se distribuyen principalmente en lugares pedregosos o bordeando nacimientos y embalses de agua. Las especies presentes son *Ficus goldmanii ssp horaliae (inéd.)*, *F. insipida ssp radulina*, *F. padifolia* y *F. cotinifolia ssp cotinifolia*.

Otras especies que comparten este estrato son *Pithecellobium dulce* (que en ocasiones alcanza una altura de hasta 15 m) y *Manguifera indica*, presente sólo en las lomas chicas. El estrato arbustivo está compuesto por individuos que no sobrepasan los 2-2.5 m de altura, entre ellos tenemos a *Iresine calea*, *Tournefortia hartwegiana*, *Cnidoscolus spinosus*, *Opuntia fuliginosa*, *O. Atropes*, *O. aff. joconostle*, *Fouquieria formosa*, *Agave angustifolia*, *Bursera bipinnata*, *Coursetia glandulosa*, *Abutilon simulans*, *Thevetia ovata* y *Plumbago scandens* (SEMADET, 2009).

### *2.3.3. Bosque espinoso o mezquital*

Este tipo de vegetación se desarrolla en suelos planos, profundos y bien drenados. Su distribución está condicionada por la concentración de nutrientes en el suelo, ya que se extiende hasta la orilla de los suelos inundables; por lo general se intercala con la vegetación acuática (SEMADET, 2009).

Dentro de la cuenca en estudio, como mezquital bien definido, solo se encuentra en pequeñas zonas circundantes a las localidades de San José de los Pozos y El Plan; sin embargo, como bosque o matorral espinoso se encuentra en diversas áreas a lo largo y ancho de la cuenca asociado con las zonas de cultivo (Gobierno del Estado de Jalisco, 2001).

Dentro de este tipo de vegetación se distinguen tres estratos: El estrato arbóreo está dominado por mezquites (*Prosopis laevigata*) que pueden alcanzar de 4 a 15 m de altura, de acuerdo con la profundidad del suelo y la disponibilidad de agua; pierden su follaje durante la época seca del año; se encuentra también *Guamuchil Phytocellobium dulce*, *Papelillo Bursera penicillata*, *Guasima Guazuma ulmifolia* y en menor número se encuentran individuos de *Ficus goldmanii horaliae (Ined.)* y *F. padifolia*, que albergan numerosas aves terrestres (SEMADET, 2011).

En el estrato arbustivo predominan el huizache *Acacia spp*, nopal *Opuntia jaliscana*, ozote *Ipomoea intrapilosa Palo dulce* o *Varaduz Eysenhardtia polystachya*, además de algunos ejemplares de *Stenocereus queretaroensis*, *Opuntia aff. joconostle*, *Hylocereus purpusii* (pitajaya), *Hylocereus undatus*, así como *Tyllandsia recurvata*, que es utilizada por diversas aves (SEMADET, 2009). En el estrato herbáceo, diversidad de especies de la familia de las compuestas que aparecen en la época de lluvias (SEMADET, 2011).

En el área de influencia del sitio Ramsar Laguna de Atotonilco el bosque y matorral espinoso está condicionado por la concentración de nutrientes en el suelo, ya que se extiende hasta la orilla de los suelos inundables; por lo general se intercala con la vegetación acuática. Dentro de este tipo de vegetación se diferencian tres estratos. El estrato arbóreo, dominado por el huizache (*Prosopis juliflora*), uña de gato (*Mimosa eurycarpa*) y el guamúchil

(*Pithecellobium dulce*) que alcanza una altura de 5-10 metros y forma un dosel compacto en ciertos lugares, lo que impide el crecimiento de otras especies. Se encuentra también a *Psittacanthus calyculatus* ("Mal de ojo") como parásito del guamúchil; comparten este estrato algunos individuos de *Guazuma ulmifolia* y en menor número se encuentran individuos de *Ficus goldmanii horaliae (Ined.)* y *F. padifolia*, que albergan numerosas aves terrestres. Se encuentran también *Prosopis laevigata* (mezquite), *Stenocereus queretaroensis*, *Opuntia jaliscana*, *O. aff. joconostle*, *Hylocereus purpusii* (pitajaya), *Hylocereus undatus*, así como *Tyllandsia recurvata*, que es utilizada por diversas aves (SEMADET, 2005).

### *2.3.4. Pastizal*

Este tipo de vegetación se desarrolla sobre suelos medianamente profundos de mesetas, fondos de valles y laderas poco inclinadas, sobre sustratos de naturaleza ígnea; en general, se trata de suelos fértiles con mediano contenido de materia orgánica, lo que los hace aptos para las actividades ganaderas (SEMADET, 2011).

El pastizal se encuentra en claros del bosque de encino, en donde se presentan las siguientes especies *Muhlenbergia pectinata*, *Paspalum plicatulum*, *Heteropogon contortus* y *Sporobolus atrovirens*; además también se encontrar elementos asociados a suelos salinos, propios de las características de las zonas aledañas a la Laguna de Atotonilco, como lo son *Distichilis spicata* acompañados de *Sporobolus pyramidatus*, *Scirpus americanus* y *Eragrostis obtusiflora* (SEMADET, 2011).

En la cuenca de la Laguna de Atotonilco el pastizal se encuentra representado por elementos asociados a suelos salinos, propios de las características de estas cuencas. Las especies más representativas son *Distichilis spicata* acompañados de *Sporobolus pyramidatus*, *Scirpus americanus* y *Eragrostis obtusiflora*, así como muchas otras especies de tipo anual, a menudo entremezcladas con manchones de *Prosopis con Opuntia* y *Celtis pallida*. También se encuentran presentes pastizales inducidos, propios de la actividad agropecuaria desarrollada en el área (SEMADET, 2005).

### *2.3.5. Vegetación ruderal o secundaria*

Este tipo de vegetación se desarrolla en áreas que han sido impactadas, en donde se ha eliminado la vegetación originaria de la zona y se encuentra principalmente en la orilla de caminos, brechas y carreteras dentro de la zona; está compuesta por especies indicadoras de disturbio. Algunos arbustos presentes son *Pluchea simpitifolia, Indigofera sufruticosa, Desmodium aff. orbiculare, Crotalaria mollicuta, Hyptis albida, Dyssodia tagetiflora, Pseudoconiza viscosa, Walteria americana, Senecio salignus* y *Ricinus comunis*. Las herbáceas se presentan principalmente en la época de lluvias, entre ellas destacan *Sonchrus oleraceus*, *Tribulus cistoides*, *Ageratum aff. houstonianum*, *Lycopersicum esculentum var. cancellata, Chloris submutica, Rhynchelytrum repens* y *Florestina pedata*, entre otras (SEMADET, 2009).

La presencia de este tipo de vegetación con influencia en el polígono Ramsar Laguna de Atotonilco (SEMADET, 2005) se desarrolla y se encuentra principalmente en la orilla de caminos, brechas y carreteras dentro de la zona; está compuesta por especies indicadoras de disturbio. Algunos arbustos presentes son *Pluchea simpitifolia, Indigofera sufruticosa, Desmodium aff. orbiculare, Crotalaria mollicuta, Hyptis albida, Dyssodia tagetiflora, Pseudoconiza viscosa, Walteria americana, Senecio salignus* y *Ricinus comunis*. Las herbáceas se presentan principalmente en la época de lluvias, entre ellas destacan *Sonchrus oleraceus, Tribulus cistoides, Ageratum aff. houstonianum, Lycopersicum esculentum var. cancellata, Chloris submutica, Rhynchelytrum repens* y *Florestina pedata*, entre otras (SEMADET, 2009).

### *2.3.6. Vegetación Hidrófila*

La vegetación hidrófila se desarrolla en zonas acuáticas o húmedas, como lagunas, estanques, pantanos, orillas de los ríos y deltas. Consiste en plantas que crecen enraizadas en el fondo con hojas grandes que sobresalen del agua cubriendo grandes áreas, como manglar, popal, tular, carrizal, vegetación flotante, sumergida y subacuática. Particularmente en la cuenca este tipo de vegetación se encuentra principalmente en la Laguna de Atotonilco y sus

canales, así como en la Presa Hurtado y presas o bordos existentes dentro de la cuenca. A continuación, se describen de forma general las especies que han sido reportadas para la zona de estudio (Gobierno del Estado de Jalisco, 2001).

### *2.3.7. Vegetación acuática y subacuática*

Dentro de la vegetación acuática reportada para la Laguna de Atotonilco, los canales, presas y bordos de la cuenca, se mencionan varios géneros como: *Thypa, Phragmites, Scirpus, Cyperus, Lemna, Salvinia, Pistia, Nymphaea, Eichhornia, Myriophyllium, Chara* y *Potamogeton*. La Laguna de Atotonilco se encuentra cubierta principalmente con tule (*Typha sp*) y en sus alrededores se encuentra *Prosopis laevigata* (mezquite), *Acacia farnesiana* (huizache), *Salix sp.* (sauce) y gramíneas como estrella africana (*Cynodon pletostachius*) (SEMADET, 2009).

Como ya se mencionó, en la laguna la principal especie es la *Typha dominguensis*; sin embargo, otras especies de flora acuática importantes y utilizadas como hábitat y alimentación por las aves y otros grupos animales son *Hydrocotile verticillata*, *Hedichium coronarium* y *Bacopa monierii* (SEMADET, 2009).

El tule (*Typha sp*) y lirio (*Eichhornia crassipes*) se pueden clasificar como vegetaciones fijas, semifijas y flotantes, estas responden a la dinámica hidrológica de la laguna influenciada por las corrientes de viento que pueden ser de Sur a Norte o de Norte a Sur en determinadas épocas del año e incluso en horas del día (SEMADET, 2009).

### *2.3.8. Vegetación subacuática*

Está compuesta principalmente por *Typha dominguensis*. Otras especies de flora acuática importantes y utilizadas como hábitat y alimentación por las aves y otros grupos animales son *Hydrocotile verticillata*, *Hedichium coronarium*, *Bacopa monierii*.

El tule (*Typha sp.*) y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) se pueden clasificar como vegetaciones fijas, semifijas y flotantes. En el caso de la Laguna de Atotonilco, la vegetación de tule y lirio responde a su dinámica hidrológica, influenciada por las corrientes de viento que pueden ser de Sur a Norte o de Norte a Sur en determinadas épocas del año e incluso en horas del día. La extensión más

considerable se encuentra en áreas poniente, Norte y Sur. La vegetación flotante se desarrolla principalmente en agua dulce; la vegetación arraigada o subacuática crece en las orillas de los cuerpos de agua. (SEMADET, 2005).

#### *2.3.9. Vegetación semiacuática*

Se desarrolla en los márgenes del cuerpo de agua en donde el contenido de materia orgánica es abundante y presenta un estrato herbáceo compuesto principalmente por gramíneas, entre las cuales destacan las especies *Cynodon pletostachius* y *C. Dactylon* (conocidos como zacates forrajeros), así como diversos individuos de leguminosas, los cuales comparten la característica de presentar suculencia; entre ellos tenemos a *Cenchrus incertus, Bouteloua repens, Hilaria ciliata, Aristida ternipens, A. barbata, Paspalum notatum, Antephora hermaphrodita, Cetaria sp, Digitaria sp.* y *Chaetium sp.*; así como árboles de Sauce (*Salix spp.*) (SEMADET, 2009).

### 2.4. Especies de flora con alguna relevancia o interés

De acuerdo con la CONABIO (2021), se encontró que en la cuenca de la Laguna de Atotonilco existe un alto grado de endemismo en las especies de flora. El listado de la Tabla I.1 (Ver Anexo I) muestra que existen 42 especies de pino-encino, nueve especies de encino, 58 especies de bosque tropical caducifolio, 15 especies clasificadas como ruderal o secundaria, nueve especies de pastizal, cuatro especies de vegetación acuática y subacuática y ocho especies semiacuáticas (ver en el Anexo I Tabla I.1).

### 2.5. Fauna

La cuenca de la Laguna de Atotonilco presenta una variada diversidad de paisajes ecológicos que van desde áreas de bosque bien conservadas hasta zonas fuertemente impactadas por actividades antropogénicas, todo esto dentro de rangos altitudinales que determinan diferentes perfiles vegetales, dando por resultado la presencia de una gran diversidad de fauna; encontrándose la mayor diversidad en aquellas áreas en donde las comunidades vegetales están más conservadas como lo son: La Sierra la Primavera, Sie-

rra El Madroño, Sierra La Difunta y la menor diversidad se encuentra en aquellos sitios en donde las comunidades vegetales han sido impactados, generalmente aquellos que se ubican cercanos a centros de población (SEMADET, 2011). Esta diversidad de paisajes ha permitido la conservación de algunas especies representativas de fauna silvestre.

La información sobre la fauna presente en la cuenca de la Laguna de Atotonilco se obtuvo de la revisión bibliográfica de diversos documentos en donde se reporta la presencia de individuos en las diferentes zonas que comprende la cuenca (SEMARNAP, 2000; SEMADET, 2009; SEMADET, 2011). Cabe señalar que otra parte de la información de fauna se obtuvo de registros existentes en la colección de Vertebrados del Centro de Estudios en Zoología de la Universidad de Guadalajara (CUCBA).

## 2.6. Reptiles

En la cuenca se encuentran reportadas las siguientes especies: *Aspidoscelis communis, A. costatus, A. septenvittatus, Sceloporus horridus, Urosaurus bicarinatus, Thamnophis eques. Coleonyx elegans, Ctenosaura pectinata, Phrynosoma orbiculare, Boa constrictor, Lampropeltis triangulum, Leptophis diplotropis, Leptophis mexicanus, Masticophis flagellum, Pituophis deppei, Thamnophis cyrtopsis, T. eques, Elgaria kingi ferruginosa, Sceloporus grammicus, Cnemidophorus communis, C. lineatissimus duodecemlineatus, Adelophis copei, Hypsiglena torquata, Imantodes gemmistratus, Leptodeira annulata, L. maculata, Rhadinaea forbesi, Salvadora bairdi, S. mexicana, Tantilla calamarina, Trimorphodon biscutatus vilkinsonii, Micrurus distans, Crotalus basiliscus, C. lepidus klauberi, C. molossus nigrescens, C. polystictus, Trachemys scripta, Kinosternon herrerai* y *K. Integrum* (SEMARNAP, 2000; SEMADET, 2009; SEMADET, 2011).

Para el humedal Ramsar existente en el área se encuentran presentes las lagartijas *Aspidoscelis communis*, *A. costatus*, *A. septenvittatus*, *Sceloporus horridus*, *Urosaurus bicarinatus* y la culebra *Thamnophis eques* (SEMADET, 2005).

## 2.7. Anfibios

Para las zonas que abarca la cuenca se han reportado las siguientes especies de anfibios *Rhinella marina, Lithobates megapoda, L. montezumae, L. neovolcanicus, L. psilonota, L. pustulosus, Anaxyrus compactilis, Incilius marmoreus, I. occidentalis, Hyla eximia, Pachymedusa dacnicolor, Plectrohyla bistincta, Craugastor occidentalis, Craugastor hobartsmithi, Eleutherodactylus nitidus* y *Pseudoeurycea bellii* (SEMARNAP, 2000; SEMADET, 2009; SEMADET, 2011). Además, de acuerdo con la ficha informativa Ramsar Atotonilco, para este grupo en el sitio Ramsar se puede mencionar la presencia del sapo (*Rhinella marina*) y la rana (*Lithobates megapoda*) (SEMADET, 2005).

## 2.8. Mamíferos

Las especies de mamíferos que se han reportado para el área de estudio son: tlacuache (*Didelphys virginiana*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), coyote (*Canis latrans*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), mapache (*Procyon lotor*), tejón o coatí (*Nasua narica*), Venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), Gato Montes (*Lynx rufus*), Zorrillo (*Maphitis macroura*), liebres y conejos (*Lepus callotis, Silvilagus cunicularius*), roedores (*Sciurus colliaei, Spermophilus annulatus, Osgoodomys banderanus, Peromyscus maniculatus, Peromyscus melanophrys, Peromyscus melanotis, Sigmodon allen, Sigmodon mascotensis, Neotoma mexicana, Pappogeomys bulleri*) y los murciélagos *Leptonycteris nivalis, Leptonycteris curasoae, Artibeus hirsutus, Artibeus jamaicensis, Corynorhinus mexicanus, Myotis carteri y Rhogeessa alleni, Desmodus rotundus* y *Tadarida brasiliensis* (SEMARNAP, 2000; SEMADET, 2009; SEMADET, 2011).

Por su parte, SEMADET (2005) registra tlacuache (*Didelphys virginiana*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), coyote (*Canis latrans*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), mapache (*Procyon lotor*), tejón o coatí (*Nasua narica*), rata mexicana (*Neotoma mexicana*) y los murciélagos *Leptonycteris curasoae, Desmodus rotundus, Artibeus jamaicensis* y *Tadarida brasiliensis*.

## 2.9. Ictiofauna

En la cuenca de la Laguna de Atotonilco se identificaron 15 especies de peces, distribuidos en cinco familias: Atherinopsidae, Cichlidae, Cyprinidae, Goodeidae, y Poeciliidae, de las cuales ocho especies son endémicas, de las endémicas dos se encuentran en Peligro de Extinción (PE) y dos Amenazadas (A) dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, además cuatro especies endémicas se encuentran en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y figuran como especies En Peligro (EN). Sumado a lo anterior, se identificaron tres especies nativas, una se encuentra bajo la categoría de Protección Especial (Pr) por la NOM-059-SEMARNAT-2010, las tres especies figuran en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN con una Preocupación Menor. Dentro de la Laguna de Atotonilco se identificaron cuatro especies exóticas, destaca la especie *Gambusia affinis* Baird y Girard, 1853, que está incluida en la lista de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo y la especie *Poecilia reticulata* Peters, 1860, esta especie es portadora de parásitos exóticos y representa una amenaza dentro los sistemas de ríos, lagos y lagunas. De las cuatro especies exóticas dos especies son susceptibles de cultivo y comercialización son: carpa común europea (*Cyprinus carpio Linnaeus*, 1758) y tilapia (*Oreochromis aureus* Steindachner, 1864). A continuación, se describen cada una de las especies endémicas, nativas y exóticas. En la Figura 2.2. se muestra su distribución geográfica en la cuenca.

### *Especies endémicas*

Charal del Río Lerma (*Chirostoma jordani* Woolman, 1894) es una especie de pez del género Chirostoma, familia Atherinopsidae. El charal del Río Lerma es un pez pequeño de cuerpo esbelto y comprimido, mide entre 30 a 90 mm, promedio de 50 mm. Es una especie endémica que se distribuye en el centro de México, en la cuenca del Río Lerma, Río Grande de Santiago y Río Ameca, lagos como Chapala, Cuitzeo y Xochimilco, entre otros, y en las cabeceras de los ríos Pánuco, Cazones y Tecolutla (Mar-Silva, 2015). Esta

especie se evaluó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN y figura como Preocupación Menor.

Tiro (*Goodea atripinnis* Jordan, 1880), es una especie de la familia Goodeidae (Koeck y Maiz-Tome, 2019). Esta especie es nativa en nueve estados de la República Mexicana y ha sido introducida de Durango hasta el Distrito Federal. Tiene el rango de distribución más grande de cualquier especie dentro de la familia Goodeidae, su área de distribución se extiende desde Hidalgo en el Este hasta Nayarit en el Oeste y desde Michoacán por el Sur hasta Zacatecas por el Norte (Miller, 2009). Esta especie se evaluó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN figura como Preocupación Menor.

Mexcalpique cola partida (*Ilyodon whitei* Meek, 1904) es un pez de agua dulce del género Ilyodon de la familia de los Goodeidae en el orden de los ciprinodontiformes (Contreras-Balderas y Almada-Villela, 1996). Es una especie endémica de lagos y lagunas de Morelos y Michoacán en el centro de México. Esta especie se evaluó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN figura como Preocupación Menor.

Pintada (*Xenotoca variata* Bean, 1887) es una especie de la familia Goodeidae, es una pez vivíparo de agua dulce (Parenti, 1981). Es endémico de México se caracteriza por poseer escamas iridiscentes, estas escamas son utilizadas por los machos para atraer a las hembras (Moyaho *et al.*, 2004). Algunas poblaciones de *X. variata* viven en cuerpos de agua turbia, como la Laguna de Yuriria, Guanajuato (de la Rosa, 2020). Esta especie se evaluó recientemente en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN en 2018 figura como Preocupación Menor.

Tiro de dos rayas (*Skiffia bilineata* Bean, 1887) pertenece a la familia Goodeidae. Todas las especies de este grupo son endémicas de México. La mayoría están en peligro a causa de las actividades humanas. Esta familia tiene la particularidad de ser peces vivíparos, lo que significa que las crías están conectadas a sus madres por estructuras parecidas a un cordón umbilical llamadas trophotaeniae. Se encuentra a lo largo de la vertiente del Pacífico de México, en la cuenca del Río Lerma Grande de Santiago y la cuenca del Río Grande de Morelia. Las aguas para este pez son tranquilas, poco profundas, fangosas

y normalmente lentas, con una vegetación a veces densa (Espinosa-Pérez *et al.*, 1993; Nelson et al., 2004). Se encuentra bajo la categoría de Peligro de Extinción (PE) por la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN figura como una especie En Peligro (EN).

Mexclapique Negro (*Xenotoca melanosoma* Fitzsimons, 1972) es una especie de la familia Goodeidae el mexcalpique negro es un pez endémico del Lago Magdalena y de las cuencas de los ríos Ameca, Armería, Santiago y Coahuayana, en los estados de Nayarit y Jalisco. Es un pez de coloración oscura. Este pez es omnívoro, aunque consume plantas de manera regular (Miller, 2009). Es un pez vivíparo, se reproduce de marzo a mayo. Esta especie está amenazada por la pérdida de caudal de los ríos y cuerpos de agua donde habita. En México se encuentra en la categoría de Peligro de Extinción (PE) en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza en la lista roja de especies En Peligro (EN).

Tiro Pintado (*Skiffia multipunctata* Pellegrin, 1901) es una especie de la familia Goodeidae, el tiro pintado es un pez de longitud menor a 80 mm, endémico de la porción inferior del Río Lerma y algunas localidades del Río Santiago, presenta una serie de manchas negras en los costados, se alimenta de algas, pequeños animales y plantas incrustadas en sustratos duros. Es un pez vivíparo, las hembras pueden parir hasta 60 crías durante los meses de febrero a mayo. Este pez está amenazado por la contaminación, eutrofización, pérdida y fragmentación de su hábitat e introducción de especies exóticas (Miller, 2009). En México se encuentra en la categoría de amenazada (A) en NOM-059-SEMARNAT-2010 y por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza en la lista roja de especies En Peligro (EN).

Picote (*Zoogoneticus quitzeoensis* Bean, 1898), es una especie de la familia Goodeidae, el cuerpo de este goodeido es relativamente alto y comprimido lateralmente (Nelson, 2006). Esta especie está ampliamente distribuida en lagos, lagunas y ríos de la Mesa Central, que han estado actual o históricamente conectados al sistema del Río Lerma. La especie puede ser encontrada en el Río Grande de Santiago, Río Lerma, Lago de Chapala, Río Ameca, Río Unión de Tula (drenaje del Río Ayuquila-Armería), y un gran número

de cuencas endorreicas como el Lago de Camécuaro, Laguna de Atotonilco, Laguna de San Marcos y el Lago de Cuitzeo (Soto-Galeray y Alcántara-Soria, 2007). En México se encuentra en la categoría de amenazada (A) en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza en la lista roja de especies En Peligro (EN).

### *Especies nativas*

Topote del Pacífico (*Poecilia butleri* Jordan, 1889), es una especie de la familia Poeciliidae, es un pez vivíparo que habita el Occidente de México y el Norte de América Central. Pertenece al complejo de *Peocilia sphenops* Valenciennes, 1846 (grupo de aleta corta) (Martínez, 2002). Este pez se encuentra bajo la categoría de Protección Especial (Pr) (SEMARNAT, 2010). Se evaluó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN figura como Preocupación Menor.

Topote Mexicano (*Poecilia sphenops*) es una especie de la familia Poeciliidae, se encuentran desde México hasta Colombia (Nelson, 1994; Moyle y Cech, 2000), en ambas vertientes; en el Atlántico, desde Nautla y la cuenca del Río Coatzacoalcos, Veracruz, y en la cuenca alta del Río Grijalva, Chiapas; en el Pacífico, de la cuenca del Río Verde, Oaxaca, hasta Guatemala y aún más al Sur. Son originarios del Centro y Sur del Continente Americano, desde el Sudeste de los Estados Unidos hasta Colombia. Habitan ambientes muy diversos, preferentemente ríos correntosos. Se encuentra frecuentemente en la desembocadura de los ríos en el mar (aguas salobres), por lo que presenta cierta tolerancia a la salinidad. Esta especie se evaluó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN figura con Preocupación Menor.

Guatopote del Lerma (*Poeciliopsis infans* Woolman, 1894) es una especie de la familia Poeciliidae, en el orden de los ciprinodontiformes. Se encuentran en Norteamérica: Estados Unidos y México (Nelson, 1994; Miller, 2009). Se reproduce todo el año, apreciándose un pico reproductivo tanto para machos y hembras en el mes de mayo. *P. infans* presenta una proporción sexual anual dominada por las hembras, con una tendencia de tres Hembras: un Macho. Esta especie se evaluó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN figura con Preocupación Menor (GBIF Secretariat, 2022).

### *Especies exóticas*

La carpa común, carpa europea, carpa común europea (*Cyprinus carpio*), es un pez perteneciente a la familia Cyprinidae. Posee cuerpo robusto y complexión comprimida en sus costados. Alcanza a medir hasta un metro y medio y a pesar hasta 40 kg. Puede vivir hasta 38 años. Esta especie ha sido introducida en todos los continentes a excepción de la Antártida. En México se introdujo en 1872 proveniente de Francia. Se ha extendido por varios estados del país, particularmente en el centro de México (Miller, 2009; CONABIO, 2017). Esta especie se evaluó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN figura como Vulnerable (VU).

Tilapia Africana Azul (*Oreochromis aureus*) es una especie de pez de la familia Cichlidae en el orden de los Perciformes. Se encuentra en el valle del Río Jordán, en el Río Nilo, en el Chad, Río Níger y el Río Senegal. Ha sido introducido en el Oasis de Azraq (Jordania), los Estados Unidos, México, Sudamérica, América Central y Sureste de Asia (Froese y Pauly, 2023). Esta especie, al igual que la carpa común europea, compiten por alimento con las especies autóctonas en los sistemas loticos y lenticos. Esta especie no se encuentra en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN.

La gambusia o gambusino (*Gambusia affinis*) es una especie de la familia Poeciliidae, es un pequeño pez de la familia de los poecílidos, orden de los ciprinodontiformes, originario del Sur de Norteamérica, notable por haber sido introducido en todo el mundo para el control biológico de los mosquitos. Está incluido en la lista 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, figura con Preocupación Menor (Lowe *et al.*, 2000).

*Poecilia reticulata* es una especie de la familia Poeciliidae, popular en el acuarismo y también se utiliza comúnmente en la investigación genética. Puede ocupar una amplia gama de hábitats acuáticos y es una amenaza para los ciprínidos y mojarras nativas. Es portador de parásitos exóticos y se cree que juega un papel importante en la disminución de varias especies amenazadas y en peligro de extinción (Global Invasive Species Database,

2012). Originaria del Norte de Sudamérica e Islas del Caribe: Brasil, Barbados, Trinidad y Tobago, Venezuela y las Guayanas (Sánchez-Duarte *et al.*, 2012). Se evaluó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN figura como Preocupación Menor.

**Figura 2. 2.** Registro de ejemplares de peces localizados en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 2.10. Aves

Son el grupo de vertebrados de mayor representatividad tanto en la cuenca como para la Laguna de Atotonilco, destaca la presencia de patos, garzas, grullas, aguilillas, pelícanos, entre otros. Cabe señalar que se encuentra la presencia tanto de aves migratorias como residentes en el sitio de estudio. A continuación se señalan algunas de las especies que han sido reportadas para el área de estudio: Chachalaca Mexicana (*Ortalis poliocephala*), Urraca-hermosa Carinegra (*Calocitta colliei*), rascador coronirrufo (*Melozone kieneri*), rascador pinto oscuro (*Pipilo erythrophthalmus*), rascador collarejo (*Pipilo ocai*), carpodaco doméstico (*Carpodacus mexicanus*), Tecolote Occidental (*Otus seductus*), Aguililla colirrufa (*Buteo jamaicensis*), Martín pescador Menor (*Chloroceryle americana*), Aura común (*Cathartes aura*), Carroñero común (*Coragyps atratus*), Paloma collareja (*Columba fasciata*), Tortolita (*Columbina passerina*), Huilota (*Zenaida macroura*), Paloma bellotera (*Zenaida asiatica*), Chara unicolor (*Aphelocoma unicolor*), Garrapatero pijui (*Crotophaga sulcirostris*), Correcaminos (*Geococyx californianus*), Tordo negro o Zanate (*Cassidix mexicanus*), Halcón cernicalo (*Falco sparverius*), Golondrina tijereta (*Hirundo rustica*), Mulato común (*Melanotis caerulescens*), Centzontle aliblanco (*Mimus poliglottos*), Codorniz norteña (*Colinus virginianus*), Carpinterillo mexicano (*Dendrocopos scalaris*), Colibrí (*Amazilia beryllina* y *Hylocharis leucotis*), Vireo anteojillo (*Vireo solitarius*), Clarín jilguero (*Myadestes obscurus*), Garza garrapatera (*Bubulcus ibis*) (SEMARNAP, 2000; SEMADET, 2009; SEMADET, 2011).

En el sitio Ramsar Laguna de Atotonilco este grupo es el más importante y con base en observaciones y verificaciones de campo hasta el momento realizadas, se pueden mencionar un aproximado de 157 especies en 41 familias (SEMADET, 2009). De entre ellas destaca la presencia de patos, garzas, grullas, aguilillas, pelícanos, entre otros. En Anexo II se presenta el listado potencial para este grupo. Cabe señalar que en el Anexo II se citan tanto las aves migratorias como residentes en el sitio de estudio. En el Anexo II se muestran igualmente algunas imágenes de especies de aves representativas de la laguna. En el Anexo VI se muestra el resultado del

trabajo realizado durante cinco campañas de observación de aves durante el periodo de desarrollo del presente documento. En este anexo se hace un recuento del registro reciente de especies de aves y número de individuos observados en la laguna.

## 2.11. Especies de flora y fauna en categoría de riesgo

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 para la protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres en categoría de riesgo, en la cuenca de la Laguna de Atotonilco se tiene la presencia de siete especies de aves amenazadas y nueve que requieren de protección especial. De las (16) especies de aves en la lista de la norma oficial destacan el pato mexicano (*Anas platyrhynchos diazi*), el garzón cenizo (*Ardea herodias santilucae*) y el zambullidor chico (*Streptoprocne semicollaris*) por ser especies endémicas de México, así como el chorlito nevado (*Charadrius alexandrinus subespecie nivosus*) que, aunque no es endémica de México, se considera una especie icónica y de suma importancia en la región de estudio.

En cuanto a las especies de mamíferos se encuentran en la lista cuatro, de estas dos son endémicas de México y dos (2) de las cuales se encuentra en la categoría de amenazada: la nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) y el murciélago trompudo (*Choeronycteris mexicana*).

Se identificaron un total de tres (3) especies de reptiles amenazadas y cinco (5) que requieren de protección especial, de estas varias son endémicas de México tales como la chicotera (*Masticophis flagellum*), el alicante (*Pituophis deppei*) y la rana megápoda (*Lithobates megapoda*).

Las especies de flora destaca la presencia del Palo Blanco (*Zinowiewia concinna*), la cual es una especie arbórea endémica de México en peligro de extinción (ver Tabla 2.2).

**Tabla 2. 2.** Especies de flora y fauna de la Laguna de Atotonilco incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

| Nombre científico | Nombre común | Endémica de México | NOM-059-SEMARNAT-2010 |
|---|---|---|---|
| **Aves** | | | |
| *Charadrius alexandrinus Sub. nivosus* | Chorlito nevado, Chorlito níveo, Chorlitejo frentiblanca | No | A |
| *Anas platyrhynchos diazi* | Pato mexicano | Sí | A |
| *Botaurus lentiginosus* | Ave toro del eje Neovolcánico (Garza norteña de tular) | No | A |
| *Falco mexicanus* | Halcón mexicano | No | A |
| *Ardea herodias santilucae* | Garzón cenizo, Garza azul, Garza morena de espíritu santo | Sí | Pr |
| *Buteo albonotatus* | Aguililla aura | No | Pr |
| *Mycteria americana* | Cigüeña americana | No | Pr |
| *Parabuteo unicinctus* | Aguililla rojinegra | No | Pr |
| *Geranoaetus albicaudatus* | Aguililla cola blanca | No | Pr |
| *Rallus limicola* | Rascón limícola | No | A |
| *Tachybaptus dominicus* | Zambullidor menor, Zambullidor chico, Zambullidorcito, Zampullin macacito | No | Pr |
| *Streptoprocne semicollaris* | Vencejo Nuca Blanca | Sí | Pr |
| *Falco mexicanus* | Halcón mexicano | No | A |
| *Falco peregrinus* | Halcón peregrino | No | Pr |
| *Geothlypis tolmiei* | Chipe Lores Negros | No | A |
| *Passerina ciris* | Colorín siete colores | No | Pr |
| **Mamíferos** | | | |
| *Lontra longicaudis* | Nutria neotropical | No | A |
| *Choeronycteris mexicana* | Murciélago trompudo | No | A |
| *Peromyscus maniculatus* | Ratón norteamericano | Sí | |
| *Sorex saussurei cristobalensis* | Musaraña de Saussure | Sí | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Reptiles** | | | |
| *Lampropeltis triangulum* | Culebra real coralillo | No | A |
| *Masticophis flagellum* | Chicotera (Culebra chirriadora común) | Sí | A |
| *Pituophis deppei* | Alicante (Culebra sorda mexicana) | Sí | A |
| *Crotalus basiliscus* | Cascabel del Pacífico (Víbora de cascabel) | Sí | Pr |
| *Kinosternon integrum* | Tortuga pecho quebrado mexicana (Tortuga común) | Sí | Pr |
| *Sceloporus grammicus* | Lagartija escamosa de mezquite (de collar) | No | Pr |
| *Trachemys scripta* | Tortuga gravada | No | Pr |
| *Lithobates megapoda (Anura runidae)* | Rana Triobata, Rana Megapoda, Rana pierna de pollo | Sí | Pr |
| **Flora** | | | |
| *Zinowiewia concinna* | Palo blanco | Sí | P |

A = Especie amenazada, P = Especie en peligro de extinción, Pr = Especie sujeta a protección especial

# Capítulo 3

## Morfometría de la cuenca y su laguna

Demetrio Meza Rodríguez[1]
José de Anda Sánchez[2]

[1] Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.
[2] Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.

## 3.1. Introducción

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. Los parámetros morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control (Lux-Cardona, 2016).

El análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje, que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual facilita realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo (Gaspari *et al.*, 2012).

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas. En particular, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes. Parece claro que existe un fuerte componente probabilístico en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con otras cuencas. La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. La medición de los factores de forma de una cuenca se realiza por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos. El primero permite comparar la forma

de la cuenca con figuras geométricas conocidas; el segundo, los resultados de las mediciones- los cuales son adimensionales- con los obtenidos en otras cuencas en las que se puede tener más información histórica de su comportamiento hidrológico (Lux-Cardona, 2016).

## 3.2. Características morfométricas de la cuenca

La cuenca de la Laguna de Atotonilco se clasifica como una cuenca endorreica, quiere decir que no presenta una salida fluvial hacia el océano o hacia otra cuenca, su característica principal es la descarga de sus escurrimientos a su laguna interior, que coincide con el mismo nombre de la cuenca; en la cuenca se presentan los tres tipos de corrientes: efímeras, intermitentes y perennes, esta última dos corrientes principales Río Grande y Arroyo Los Tapones tienen su nacimiento en el Cerro El Madroño donde se encuentra el Área de Protección Hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos (El Estado de Jalisco, 2013).

Se identificaron distintos patrones de drenaje como son: dendrítico, paralelo, radial y desordenado. El drenaje dendrítico se desarrolla en la cuenca sobre rocas con resistencia uniforme en las superficies de montaña (Guerra, 1980), están limitadas en el Cerro Viejo, Sierra La Primavera, Cerro El Monte Negro y Cerro Los Novillos. Los drenajes paralelos se identificaron en las pendientes más fuertes dentro de la cuenca (Campos, 1987). En la Sierra La Difunta el drenaje radial se limitó en los conos volcánico del Cerro Las Planillas y el Cerro Mazatepec. El drenaje desordenado se localizó en las topografías llanas de la cuenca y en su mayoría en los contornos de la Laguna de Atotonilco.

La cuenca drena una superficie de 755.32 km², considerada como una cuenca intermedia grande de acuerdo con la clasificación de Campos (1987). Presenta un perímetro de 170 km, con una longitud de 30 km. La elevación máxima con respecto al nivel del mar fue encontrada en Cerro Viejo a una elevación de 2,959 m s.n.m., la mínima encontrada a las orillas de la Laguna de Atotonilco con 1,352 m s.n.m. (Tabla 3.1).

De acuerdo con la Tabla 3.1, en la cuenca se definió una elevación media de 1,581 m s.n.m., lo que quiere decir que las superficies de montañas dentro

de la cuenca influyen en el escurrimiento superficial afectando directamente el comportamiento del régimen hidrológico existente, relacionado directamente con las precipitaciones, temperaturas, tipo de vegetación y al uso del suelo que se da a la cuenca (Campos, 1987). El relieve de la cuenca fue de 1,592 m s.n.m., es evidente que existe una influencia del relieve con los escurrimientos, mayor relieve corresponde una menor duración de concentración de las aguas de escurrimientos en la red de drenaje y afluentes del curso principal afectando el tiempo de concentración (Sánchez, 1987).

La pendiente está relacionada con los fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie con una importante relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución de las aguas subterráneas (Guilarte, 1978). La cuenca tiene una pendiente promedio de 12%, corresponde a un terreno accidentado, donde existen movimientos en masa de todo tipo, especialmente solifluxión, reptación erosión en surcos, ocasionalmente deslizamientos (Tabla 3.1).

La forma de la cuenca es oval-oblonga a rectangular oblonga, es una cuenca alargada a rectangular, descripción echa a partir del parámetro de Índice de Compacidad (1.74), resultado que sustenta el parámetro de Factor de Forma (1.90). Su forma presenta características morfométricas muy compleja con muchos atributos específicos, por esta razón es difícil caracterizar la forma mediante un simple valor numérico (Campos, 1987; Sánchez, 1987) (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1.** Parámetros morfométricos e hidrográficos de la cuenca

| Parámetro | Símbolo | Unidades | Descripción |
|---|---|---|---|
| Elevaciones | | m s.n.m. | 1,364 – 2,956 |
| Descripción de la cuenca | | | Intermedia-Grande |
| Clasificación | | | Endorreica |
| Forma de la Cuenca | | | Oval – oblonga a rectangular oblonga |
| Tipo de drenaje | | | Dendrítico |
| Área | *A* | $km^2$ | 755.32 |
| Perímetro | *P* | km | 170 |
| Altitud media | *Hm* | m s.n.m. | 1,581 |
| Relieve | *R* | m | 1592 |
| Pendiente media de la cuenca | *Pm* | % | 12 |
| Longitud de la cuenca | *L* | km | 30 |
| Índice de compacidad | *Kc* | [ - ] | 1.74 |
| Factor de forma | *Ff* | [ - ] | 1.90 |
| Curva hipsométrica | | | Cuenca de Valle |
| Número orden | *No* | Núm. | 6 |
| Número de escurrimientos | | Núm. | 2,147 |
| Longitud de los escurrimientos | *E* | km | 1,426 |
| Longitud del escurrimiento principal | | km | 59 |
| Densidad drenaje | *Dd* | $km/km^2$ | 1.88 |
| Densidad hidrológica | *Dh* | $n/km^2$ | 2.84 |
| Relación de bifurcación | *Rb* | [ - ] | 3.13 |
| Pendiente del río principal | | % | 1.15 |
| Tiempo de concentración | *Tc* | h | 6.17 |

La curva hipsométrica obtenida para la cuenca refleja un área cuyo relieve se encuentra en un estado erosionado o cuenca de valle, donde se presentan mayores superficies planas, por lo que su potencial morfodinámico experimenta procesos erosivos y movimientos en masa muy altos. La "cuenca de valle" el relieve indica la existencia de valles alargados donde predomina la erosión vertical (Llamas, 1993). La forma de la curva muestra una fuerte influencia en la deposición de sedimentos (ver Figura 3.1).

**Figura 3. 1.** Curva hipsométrica de la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 3.3. Número de orden de las corrientes fluviales de la cuenca

La jerarquización de las corrientes de agua que conforman la red de drenaje de la cuenca corresponde a un sistema hidrogeomorfológico de orden seis (ver Figura 3.2), siendo esta magnitud, de cierta manera, un indicador importante y significativo de la extensión y ramificación de la red de drenaje. El sistema de drenaje de orden seis (Tabla 3.1), considerado alto, muestra que existe un elevado potencial erosivo, mayor transporte de sedimentos y, por tanto, presentará mayor escurrimiento directo, el drenaje es considerado como bien drenado, y la forma de los tributarios en su mayoría son considerados como dendríticos (Campos, 1987).

En la cuenca se contabilizaron un total de 2,146 escurrimientos superficiales (Tabla 3.1), con una longitud total de 1,426 km, se identificaron seis corrientes principales en la cuenca de captación: Arroyo La Tinaja, Arroyo La cofradía, Arroyo Las Tuzas, Arroyo Los Tapones, Arroyo El Corral Falso y Río Grande. El Río Grande se identificó como la corriente principal de la cuenca ya que tiene una longitud de 59 km, la cual es considerada como una longitud intermedia a corta (Tabla 3.1).

**Figura 3. 2.** Número de orden de las principales corrientes fluviales de la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

La densidad de drenaje obtenida para la cuenca fue de 1.88 km/km$^2$ (ligera); este valor de densidad de drenaje es bajo y está controlado por el clima. La red de drenaje discurre sobre un sustrato litológico con alta susceptibilidad a los procesos erosivos, su densidad es medida por las precipitaciones moderadas que se registran en la región, aunado a la existencia de formaciones vegetales boscosas en la parte alta de la cuenca, favoreciendo a los procesos de infiltración más que el escurrimiento superficial, por lo que sus caudales medios anuales son bajos. Estas condiciones promueven respuestas geomórficas rápidas a eventos de perturbación (Sánchez, 1987; Llamas, 1993). La cobertura vegetal y el uso del suelo influyen en la densidad del drenaje. La escasa cobertura vegetal dentro de la cuenca deja el paisaje expuesto a lluvias que inducen altas tasas de erosión y disección del paisaje, manteniendo y/o aumentando la densidad de drenaje (Campos, 1987).

La densidad de drenaje hace suponer que en el sistema no se generan crecidas con periodicidad y que los tiempos de concentración son pausados, debido al control que ejercen el clima y la vegetación. Sin embargo, existe una alta posibilidad de que se originen crecidas que proyecten hidrogramas con picos dominantes, reduciendo con ello los tiempos de concentración, ajustados más bien por las características del relieve (pendientes), el tamaño de la cuenca, y las características (intensidad y duración de las lluvias) de las tormentas que las puedan generar.

Dentro de la cuenca existen áreas con densidades de drenaje de fuerte a muy fuerte, localizadas en el Cerro Viejo y Sierra La Primavera (ver Figura 3.3), las mayores superficies dentro de la cuenca son para densidades de drenaje (*Dd*) de baja a moderada.

La densidad hidrológica fue estimada en 2.84 corrientes por km$^2$. Este parámetro debe interpretarse como el número de cauces por kilómetro cuadrado necesarios para mantener las condiciones de drenaje en la cuenca (Díaz *et al.*, 1999). El valor promedio de la densidad hidrológica para la cuenca de la Laguna de Atotonilco fue de tres causes por kilómetro cuadrado.

**Figura 3. 3.** Densidad de drenaje de la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

La relación de bifurcación (*Rb*) es la proporción que existe entre el número de segmentos de un orden (*No*) y el número de segmentos de orden inmediatamente superior (N*os*). El valor promedio Rb de estos valores parciales se puede tomar como un valor representativo de la cuenca y es considerado característico del sistema y de su torrencialidad (Strahler, 1964). La relación de bifurcación entre los distintos órdenes de corrientes de la red de drenaje es uniforme en todo el sistema, el método de Horton (1945) y el criterio numérico de Strahler (1964) se colocan dentro del rango (3 a 5) de valores característicos de los sistemas fluviales (ver Tabla 3.2 y 3.3). A partir de la pendiente de la recta se determinó la relación de bifurcación de 5.36 de acuerdo con el método de Horton (1945) y de 3.13 de acuerdo con el método de Strahler (1964), con lo cual se cumple la Ley del Número de Cauces de Horton-Strahler. Las ramificaciones de la red de drenaje desde su única corriente de orden seis hasta las corrientes de orden uno tiende a formar una progresión geométrica (Horton, 1945; Strahler, 1964). Estos valores son comparables con cuencas de tamaño similar.

**Tabla 3. 2.** Relación de bifurcación mediante el método Horton (1945)

| Orden | Número de cauces | Bifurcación | Relación de Bifurcación |
|---|---|---|---|
| 1 | 1,031 | 1.7 | **5.36** |
| 2 | 608 | 2.0 | |
| 3 | 304 | 3.1 | |
| 4 | 97 | 0.9 | |
| 5 | 102 | 20.4 | |
| 6 | 4 | 2.0 | |
| **Total** | **2,146** | | |

**Tabla 3. 3.** Relación de bifurcación mediante el método Strahler (1964)

| Orden | Número de cauces | Logaritmo natural | Relación de Bifurcación |
|---|---|---|---|
| 1 | 1,031 | 3.01 | **3.13** |
| 2 | 608 | 2.78 | |
| 3 | 304 | 2.48 | |
| 4 | 97 | 1.99 | |
| 5 | 102 | 2.01 | |
| 6 | 4 | 0.60 | |
| **Total** | **2,146** | | |

La pendiente del río principal (Río San Antonio) fue estimada en 1.15%; es un indicador de que la velocidad de flujo es baja y muestra que el caudal total recibe una elevada contribución de las aguas subterráneas y fuertes flujos después de una precipitación (Campos, 1987). La corriente del río en sus primeros 6.4 km de recorrido alcanza pendientes cercanas a los 16% en superficies del Cerro El Madroño, donde se encuentra el Área de Protección Hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos, estas crecidas son de muy alta peligrosidad ya que facilitan una rápida concentración de las aguas. El aumento de la pendiente aumenta la velocidad del agua por la red hidrográfica haciendo más susceptible a la cuenca a procesos erosivos y al arrastre de materiales, incluso puede ocasionar inundaciones en las localidades cercanas a ellas, como es el caso de la población Buenavista en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga.

El tiempo de concentración estimado para la corriente principal (Río San Antonio) fue de 6.17 horas (6 horas 10 min), relativamente corto tomando en cuenta que no existe evaporación y/o infiltración (Kirpich, 1940). Alcanza sus tiempos de concentración más cortos en Cerro El Madroño donde se encuentra el Área de Protección Hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos.

## 3.4. Afluentes principales

Como resultado de caracterización hidrográfica de los principales ríos en la cuenca, solo dos corrientes superficiales obtuvieron los valores más altos para el número de orden, relación de bifurcación y el tiempo de concentración (ver Tabla 3.4). Las corrientes del Río San Antonio y Arroyo Grande ejercen una influencia significativa sobre la descarga relativa de arroyos en la red de drenaje dentro de la cuenca, sus valores de bifurcación se relacionan con redes de drenaje fuertemente ramificados, lo que repercute con crecidas bruscas en su desembocadura, representan drenajes no bien definidos donde la estructura geológica ha distorsionado el modelo de drenaje (Klohn, 1970). El tiempo de concentración para todas las corrientes son relativamente cortos y tienen una relación directa con las crecidas bruscas dentro de la cuenca.

**Tabla 3. 4.** Resultados hidrográficos de los principales afluentes de la cuenca

| **Parámetros/ Arroyos** | Arroyo La Tinaja | Arroyo La Cofradía | Arroyo Las Tuzas | Río San Antonio | Arroyo El Corral Falso | Arroyo Grande |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Número Orden | 3 | 3 | 3 | 6 | 4 | 6 |
| Relación Bifurcación | 1.73 | 1.37 | 1.37 | 2.25 | 1.70 | 2.19 |
| Tiempo de concentración (h) | 1.22 | 1.42 | 1.36 | 6.17 | 1.30 | 3.11 |

## 3.5. Perfiles longitudinales de los ríos principales

Dentro de la cuenca de la Laguna Atotonilco, el Río San Antonio y Arroyo Grande mostraron las longitudes más extensas de escurrimiento principal desde su nacimiento hasta su descarga en la laguna con 59 km y 38.1 km de longitud respectivamente (ver Figura 3.4), al inicio de estas dos corrientes se describe un perfil longitudinal que exhibe fuertes cambios de pendiente. Para las dos corrientes los perfiles pueden dividirse en dos sectores o segmentos, tomando como referencia la cota de 2,400 m s.n.m., a partir de la cual los cauces del Río San Antonio y Arroyo Grande hacia sus cabeceras muestran pendientes fuertes con valores

promedios por tramo que oscilan entre 28% y 45%. Esto refleja el control de la litología y del relieve en la morfología donde escurre encajadamente sobre un relieve montañoso, a través de su valle estrecho y profundo y sobre rocas ígnea (Basalto) relativamente más resistentes a la degradación fluvial que los materiales del cauce del segmento más bajo del perfil (Ortiz, 1992) (ver Figura 3.4).

**Figura 3. 4.** Longitud de las corrientes principales en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez y J. de Anda-Sánchez, 2021, elaboración propia)

Las corrientes Arroyo Las Tuzas y Corral Falso alcanzaron las pendientes más bajas en su recorrido con 1.3% y 1.7%, se localizan cerca de las superficies subhorizontales de la cuenca, los Arroyos Las Tinajas y La Cofradía alcanzaron pendientes de 3.8% y 4.5% en su recorrido, lo que muestra el potencial erosivo y arrastre de sedimentos (ver Figura 3.5).

**Figura 3. 5.** Perfiles longitudinales de los principales ríos y arroyos dentro de la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 3.6. Perfil transversal

En la Figura 3.6 se muestran los perfiles transversales del cerro Los Novillos a la Sierra La Primavera (Perfil [A]). La forma de este perfil muestra la presencia de rocas blandas, no se aprecian depresiones de pendientes elevadas, en su recorrido se observan los valles intermontanos abiertos, la vertiente izquierda es más extensa y de pendientes menos pronunciadas que la derecha. Esta última, por lo general, con menores elevaciones. En el perfil del cerro Monte Negro a Sierra del Madroño (Perfil [B]) las vertientes se unen en forma de "V", que es característico de ríos de montaña y donde no existe una zona de amortiguación de escurrimiento superficial en su ruta hacia el cauce principal. Esto totalmente refleja una mayor sensibilidad al deterioro hidrológico una vez que se perturba el suelo. La vertiente derecha su forma de V invertida muestra un tipo de rocas más resistentes, la vertiente izquierda es más extensa, pero con pendientes menos escabrosas. En este sentido, el relieve montañoso que caracteriza la parte alta de la cuenca con entallamiento profundo en forma de "V" determinan los procesos erosivos de vertiente (Ortiz, 1992).

**Figura 3. 6.** Perfiles transversales dentro de la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 3.7. Morfometría de la Laguna de Atotonilco

Los parámetros morfométricos de la Laguna de Atotonilco son necesarios para calcular la forma y las dimensiones del cuerpo de agua. La importancia de la morfometría reside principalmente en que la forma del cuerpo de agua es uno de los determinantes, junto con el clima y el tipo de suelos de su cuenca de drenaje y de su productividad biológica (Quirós, 2004; Roldán & Ramírez, 2008).

Mediante el procesado de los datos obtenidos en las campañas de campo durante los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2020 se definieron 67 estaciones para medición de la profundidad hasta la superficie del espejo de agua (ver Figura 3.7); se obtuvieron los diferentes parámetros morfométricos para cada una de las unidades estudiadas que se describen en la Tabla 3.5.

**Figura 3. 7.** Estaciones de campo para el levantamiento de la altura de la lámina de agua dentro de la Laguna de Atotonilco
(Fuente: D. Meza-Rodríguez y J. de Anda-Sánchez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 3. 5.** Características morfométricas de la Laguna de Atotonilco

| Parámetros | *Símbolo* | Unidades | Valor |
|---|---|---|---|
| Ancho máximo | *Wmax* | km | 3.91 |
| Ancho medio | *W* | km | 2.12 |
| Área de la cuenca | *Ac* | $km^2$ | 755.32 |
| Área de la laguna | *AL* | $km^2$ | 22.52 |
| Cociente profundidades media y máxima de la laguna | | m | 0.57 |
| Coeficiente de atenuación lumínica | *K* | [-] | 1.05 |
| Desarrollo de rivera | *DL* | [-] | 0.63 |
| Índice de alargamiento | *Ia* | [-] | 5.00 |
| Índice de desarrollo de costa | *Dl* | [-] | 1.86 |
| Insularidad | *IA* | | 0.00 |
| Longitud Máxima | *P* | km | 10.61 |
| Pendiente promedio | *S* | % | 0.47 |
| Perímetro | *P* | km | 31.27 |
| Profundidad de zona fótica | | m | 0.06 |
| Profundidad Máxima | *Zmax* | m | 1.08 |
| Profundidad media | *Zm* | m | 0.73 |
| Profundidad promedio | | m | 0.62 |
| Profundidad relativa | *Zr* | % | 2.37 |
| Dirección del eje mayor | | | N - S |
| Forma de la laguna | | | CX |
| Relación de Schindler | | [-] | 20.24 |
| Transparencia | | m | 0.02 |
| Volumen de la laguna | *VL* | $hm^3$ | 38.43 |
| Volumen de desarrollo | *DV* | [-] | 1.74 |
| *Zm/Zmax* | | [-] | 0.68 |
| *Ac/A* | | [-] | 33.55 |
| *Ac/V* | | [-] | 19.65 |

El área (A) es la variable más utilizada comúnmente en limnología y en geografía para referirse al tamaño de un lago o laguna; otras variables de tamaño con interés limnológico se relacionan con el área (e.j., la profundidad, el volumen o el área de la cuenca de drenaje) (Schäfe *et al.*, 2004; Roldán & Ramírez, 2008). El área aproximada de la Laguna de Atotonilco es de 22.52 $km^2$, presenta un perímetro de 31.27 km, este se define como la intersección de la tierra con la superficie de la laguna.

El ancho máximo es de 3.91 km y el ancho medio de 2.12 km. La laguna presentó una longitud máxima de 10.61 km (ver Figura 3.8), y se define como la línea que conecta los dos puntos más alejados de la costa de la laguna, esta línea no ha de cruzar zonas terrestres, pero sí puede cruzar islas dentro del lago o laguna; esto hace que, en general, dicha línea sea una recta, aunque en lagos o lagunas con forma arqueada la línea es una curva. En índice de alargamiento (*Ia*) presentó un valor de 5.00 característico de forma alargada (Schäfe *et al.*, 2004; Roldán Ramírez, 2008).

**Figura 3. 8.** [A] longitud máxima, [B] ancho máximo de la laguna
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Durante el periodo de estudio de agosto 2020 a diciembre 2021 la profundidad máxima en la laguna fue de 1.87 metros, encontrada en el mes de octubre de 2021; la profundidad media estimada, 0.86 y la mediana, 1.04. Los valores cercanos entre la profundidad media ($Z_m$) y mediana ($Z_{50}$) implica que el volumen de agua se reparte equitativamente en la columna de agua.

La profundidad relativa ($Z_r$) estimada con un 2.37% considerado muy bajo, lo que permite predecir que el sistema tiene una tendencia a presentar estratificación y estabilidad fuerte (alta resistencia a la acción del viento). Además, este valor de profundidad relativa ($Z_r$) indica que los factores externos tienen una influencia relativamente alta sobre la estabilidad de la columna de agua (Roldan & Ramírez, 2008). El cociente entre profundidad media y profundidad máxima da un valor comparativo de la forma de la laguna en términos de desarrollo volumétrico. El valor representado en la Laguna Atotonilco es de 0.57, que es similar al de una depresión cónica perfecta o un cono elíptico recto (Schäfe *et al.*, 2004).

Las características morfológicas desempeñan el papel más importante en la evaluación del estado trófico de lagunas costeras. La mayoría de los índices tróficos basados en la disponibilidad de luz para la fotosíntesis, el más usado, es el método del disco Secchi (profundidad o transparencia) (Carlson, 1977, Carlson & Simpson, 1996). La transparencia ($D_{sd}$) se estimó utilizando el estadal granadino 0.01 m con bandas negras y blancas alternadas, la transparencia estimada fue de 0.02 metros, este valor estima la profundidad fótica, que es la penetración de la luz del sol con un valor estimado de 0.06 metros, esta penetración es muy variable en función de la turbidez del agua a lo largo de la laguna, además las medidas de la cantidad de luz disponible a través de la columna de agua son importantes para identificar las zonas capaces de sostener actividad fotosintética.

El coeficiente de atenuación lumínica ($K$) se estimó a través de la fórmula de Weinberg (1979), el resultado atenuación lumínica fue de 1.05 ($m^{-1}$), presentó un valor correspondiente al de una laguna oligomesotrófica, refiere a un estado de "calidad media" donde los procesos de degradación y acumulación no asimilan los microorganismos y el agua queda enriquecida con nutrientes que favorecen la multiplicación de algas.

La relación del área de la cuenca entre el volumen del cuerpo de agua (*Ac* / *VL*) se puede relacionar con los parámetros tróficos. El aporte externo de nutrientes desde la superficie de la cuenca hacía el lago está influido por este índice, de manera que el valor estimado de 19.65 para la laguna representan lagos no oligotróficos, con una alta cantidad de nutrientes (Hernani & Ramírez 2002).

El valor estimado en la relación entre el área de la cuenca de drenaje y el volumen de la laguna (*Ac*/*VL*) fue de 33.55, lo que define a una laguna oligomesotrófica. Esto es consecuencia del substrato muy soluble y de una alta intervención humana en la cuenca, estos parámetros indican la gran influencia que tienen los diversos tipos de intervenciones o modificaciones de la cuenca sobre el estado trófico de la laguna (Hernani & Ramírez, 2002).

El perfil longitudinal muestra una sola cubeta, su profundidad máxima ($Z_{max}$) es de 1.87 m (ver Figura 3.9 [A]), esta profundidad máxima fue encontrada durante el mes de octubre de 2021. El perfil longitudinal muestra pendiente pronunciadas en las costas Norte, para la costa Sur presentó pendientes más suaves. En el perfil transversal del fondo se observan pendientes similares a lo largo del centro del cuerpo de agua (ver Figura 3.9 [B]), la laguna presenta una dirección general de Norte a Sur con una forma convexa.

Un parámetro importante que determina el grado de sedimentación es el volumen (V) de la laguna. Los grandes volúmenes son consecuencia natural de la evolución de la cubeta de una laguna, a medida que esta envejece el índice va incrementándose paulatinamente por la constante acumulación de sedimentos (Schäfe *et al.*, 2014).

**Figura 3. 9.** [A] Perfil longitudinal de la laguna, [B] Perfil transversal de la laguna (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 3.8. Variación en los niveles de almacenamiento en la laguna

La variación de los volúmenes de agua almacenados en los cuerpos de agua es un factor importante que influye en los sistemas humedales. La variación de un mes a otro en el volumen de agua puede conservar una alta diversidad de especies. De modo similar, la producción del ecosistema y la estructura de las redes tróficas pueden oscilar en respuesta a variaciones mensuales e interanuales. Esta diversificación de los volúmenes de almacenamiento asegura que distintas especies se beneficien a lo largo del año, promoviendo así una alta diversidad biológica en los ecosistemas de humedales (Baron *et al.*, 2003).

Las variaciones de la profundidad de la Laguna de Atotonilco tienen un aspecto importante, ya que son producto de cambios que pueden tomarse como indicadores para las futuras actividades o como elementos de monitoreo en estudio futuros. La Laguna de Atotonilco tiene la particularidad de que puede persistir por varios meses con un perímetro húmedo relativamente amplio, pero en un lapso de unos meses (periodo de secas) puede

llegar a secarse casi por completo, mientras que un tiempo después (meses en la época de lluvias) se vuelve a restablecer (ver Figura 3.10 y Figura 3.11).

Para estimar el volumen de la Laguna de Atotonilco, para los diferentes periodos se utilizó los datos batimétricos de la laguna obtenidos de las campañas de campo que se llevaron a cabo de agosto de 2020 a diciembre del 2021. Para el cálculo del volumen mensual almacenado en la laguna se recurrió a la medición del nivel de esta por medio de un banco de nivel instalado en el cuerpo de agua y el uso del programa ArcGIS 10.8 para generar el modelo bidimensional de la topografía (ver Figura 3.12) y batimetría de la laguna (ver Figura 3.13). El volumen observado de almacenamiento en el periodo agosto del 2020 a diciembre del 2021 se muestra en la Tabla 3.6. Durante el periodo el mínimo del volumen de almacenamiento observado fue en el mes de junio de 2021, alcanzando escasamente 1.32 $hm^3$ y el máximo se observó en el mes de octubre de 2021, con un volumen de 62.47 $hm^3$.

**Figura 3.10.** Variación de la superficie húmeda de la laguna en el periodo de agosto a diciembre de 2020
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Continuación **Figura 3.10.**

**Figura 3.11.** Variación de la superficie y profundidad de la laguna en el periodo de enero a diciembre de 2021
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Continuación **Figura 3. 11.**

Cotinuación **Figura 3. 11**

Continuación **Figura 3. 11.**

**Figura 3. 12.** Topografía de la Laguna de Atotonilco
(Fuente: Demetrio-Meza, 2021, elaboración propia)

**Figura 3.13.** Batimetría de la Laguna de Atotonilco
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 3. 6.** Variación del área, perímetro, profundidad máxima y volumen de almacenamiento de la Laguna de Atotonilco (agosto del 2020 a diciembre del 2021)

| Mes | Año | Área ($km^2$) | Perímetro (km) | Profundidad máxima (m) | Volumen ($m^3$) | Volumen ($hm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Agosto | 2020 | 20.90 | 32.15 | 1.04 | 34,541,507.53 | 34.54 |
| Septiembre | 2020 | 21.94 | 32.54 | 1.08 | 36,736,729.68 | 36.74 |
| Octubre | 2020 | 23.10 | 35.80 | 1.27 | 42,521,800.36 | 42.52 |
| Noviembre | 2020 | 22.87 | 33.10 | 1.22 | 41,046,806.62 | 41.05 |
| Diciembre | 2020 | 23.07 | 32.82 | 1.06 | 37,900,457.08 | 37.90 |
| Enero | 2021 | 20.51 | 31.30 | 0.98 | 33,407,384.26 | 33.41 |
| Febrero | 2021 | 19.65 | 31.27 | 0.87 | 30,295,388.60 | 30.30 |
| Marzo | 2021 | 19.03 | 30.53 | 0.78 | 28,012,489.53 | 28.01 |
| Abril | 2021 | 16.54 | 26.87 | 0.54 | 21,294,320.79 | 21.29 |
| Mayo | 2021 | 11.67 | 20.71 | 0.30 | 12,760,909.34 | 12.76 |
| Junio | 2021 | 1.28 | 12.71 | 0.22 | 1,319,115.93 | 1.32 |
| Julio | 2021 | 18.99 | 33.76 | 0.84 | 28,517,090.07 | 28.52 |
| Agosto | 2021 | 21.09 | 33.99 | 1.13 | 33,765,195.16 | 33.77 |
| Septiembre | 2021 | 24.15 | 41.31 | 1.38 | 46,508,037.82 | 46.51 |
| Octubre | 2021 | 26.45 | 45.72 | 1.87 | 62,469,385.11 | 62.47 |
| Noviembre | 2021 | 25.44 | 42.11 | 1.61 | 54,034,143.42 | 54.03 |
| Diciembre | 2021 | 25.20 | 42.10 | 1.36 | 47,384,660.30 | 47.38 |

De acuerdo con Schäfe *et al.*, (2014), la Laguna de Atotonilco corresponde a un ambiente acuático en estado evolucionado donde el proceso de envejecimiento se acelera debido a la avanzada etapa de fragmentación.

El índice de desarrollo de la línea de costa (DI), es un indicador de forma circular, el valor de este índice será igual a 1. A medida que el valor aumenta también la irregularidad de la costa, indicándonos rápidamente la forma de esta. Es decir, que este valor es un índice del grado de regularidad de la línea de costa. Para la Laguna de Atotonilco el valor de este índice es de 1.86, lo que indica una cierta regularidad de la línea de costa de la laguna (Roldán & Ramírez, 2008).

El modelo topográfico que describe el terreno de la laguna contiene información geográfica espacial. Para obtener esta información fue necesario

generar una nube de puntos o conjunto de datos (puntos) con ubicación espacial dentro de un plano de referencia, los cuales están definidos por coordenadas *x, y, z* (ver Figura 3.7). Estos tienen como finalidad representar la superficie de la laguna, la densidad de esta nube representa la calidad de la forma que representa el terreno, entre más alta mayor será el detalle que se obtendrá al visualizarla. En la Figura 3.12 se observa la forma del terreno alcanzado la elevación más baja con respecto al nivel de mar de 1,349.50 m s.n.m., con un relieve de 7.99 m y una pendiente promedio de 0.33%, que es relativamente baja. Los datos de la batimetría permitieron generar las curvas que relacionan la elevación con el área y volumen de la Laguna de Atotonilco (ver Figura 3.14). De acuerdo con esta gráfica, la superficie máxima que alcanza la laguna es del orden de 2,250 ha y el volumen máximo de almacenamiento que alcanza con esta superficie cubierta de agua es del orden de 38 $Mm^3$.

**Figura 3. 14.** Relación de la elevación con el área y el volumen de almacenamiento de la Laguna de Atotonilco
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

# Capítulo 4

## Balance hídrico de la cuenca

Demetrio Meza Rodríguez[1]
José de Anda Sánchez[2]

[1] Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.
[2] Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.

## 4.1. Introducción

Considerando únicamente los procesos del ciclo natural del agua, las cuencas endorreicas y los cuerpos de aguas ubicados dentro de estas (lagos, lagunas o humedales) experimentan pérdidas de agua a través de la percolación del agua subterránea y la evapotranspiración. El nivel de evapotranspiración (*ET*), que es la suma de la evaporación (agua abierta, suelo, sublimación de nieve y hielo y pérdida de intercepción del dosel arbóreo) y la transpiración de las plantas, es generalmente más alto que la precipitación (*P*) en cuencas ubicadas en regiones áridas y semiáridas, donde geográficamente se encuentran la mayoría de estas cuencas y lagos a nivel mundial (Yapiyev *et al.*, 2017).

En los últimos años se han desarrollado modelos de balance hídrico para varios cuerpos de agua de la región incluyendo el Lago de Chapala, la Laguna de Zapotlán, la Laguna de Santana en Zacatecas (de Anda *et al.*, 1998; Ortíz-Jiménez *et al.*, 2005; Gaytán *et al.*, 2008). Para generar el balance hídrico de Laguna de Atotonilco se utilizó un modelo de escurrimientos desarrollado por Témez (1977).

En años recientes las actividades antropogénicas han modificado las características del escurrimiento natural de la cuenca de la laguna con la finalidad de conducir el agua hacia las extensas áreas agrícolas que se han desarrollado en la cuenca (ver Figura 2.1). La magnitud de estas modificaciones se estimó mediante la vinculación del modelo Témez (1977) y ArcGIS 10.8. La aplicación de estas herramientas permitió estimar los límites modificados de la cuenca y el comportamiento hídrico de la laguna.

Con la finalidad de conocer las características del territorio que influyen en el balance hídrico de la cuenca se describen primeramente los paisajes

hidrológicos de esta, las pendientes, la precipitación, la evaporación potencial, la evapotranspiración, los escurrimientos y el índice topográfico de humedad. Posteriormente se estudiaron las variaciones de los niveles de almacenamiento de agua en la laguna, las extracciones del agua superficial y subterránea, de esta forma se cuenta con los componentes más relevantes para establecer un modelo para determinar del balance hidrológico.

## 4.2. Estudios previos de balance hídrico

En el año 2019 la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural solicitó el estudio denominado "Diagnóstico para el Establecimiento de una Estrategia de Recuperación y preservación de la Laguna de Villa Corona" (SADER, 2019). Este estudio comprende una descripción de los aspectos hidrológicos, del medio físico, los usos del agua superficial y el balance hídrico de la cuenca. En este estudio igualmente se sugieren algunas medidas para la recuperación del régimen hídrico de la laguna.

La Comisión Nacional del Agua divide la cuenca de la Laguna de Atotonilco en dos cuencas hidrológicas que ha denominado: Laguna Villa Corona A y Laguna Villa Corona B (DOF, 2013). La cuenca hidrológica Laguna Villa Corona A comprende desde el nacimiento del Río San Antonio hasta la Presa Hurtado (la presa más importante de la cuenca). Tiene una superficie de aportación de 337.0 $km^2$. Limita al Norte con la región hidrológica número 14 Río Ameca y una porción de la región hidrológica del Río Santiago, al Sur con la cuenca hidrológica Laguna Villa Corona B, al Este con la porción de la región hidrológica del Río Santiago, y al Oeste por la región hidrológica número 14 Río Ameca (DOF, 2013).

La cuenca hidrológica de la Laguna Villa Corona B comprende desde la Presa Hurtado hasta la Laguna Atotonilco. Tiene una superficie de aportación de 390.0 $km^2$ y colinda al Norte con la cuenca hidrológica Laguna Villa Corona A, al Sur con la cuenca hidrológica Laguna San Marcos-Zacoalco, al Este con la porción de la región hidrológica del Río Santiago y al Oeste con la región hidrológica número 14 Río Ameca (SADER, 2019).

El volumen medio anual de escurrimiento natural de ambas cuencas está reportado por la CONAGUA para diferentes años, mismos que se reportan en la Tabla 4.1 (DOF, 2008, 2013, 2019, 2020). En la Tabla 4.1 se muestra que el escurrimiento medio anual tuvo una importante reducción entre el año 2008 al 2013, alcanzando el 18.5% en el periodo y posteriormente se ha mantenido el escurrimiento relativamente constante presentando ligeros incrementos los cuales no han superado el 5%. Valores en millones de metros cúbicos ($Mm^3$).

**Tabla 4. 1.** Volumen medio anual de escurrimiento natural en la cuenca de la Laguna de Atotonilco (Laguna Villa Corona A y B) en el periodo 2008 - 2020

| Año | Laguna Villa Corona A | Laguna Villa Corona B | Suma A+B |
|---|---|---|---|
| 2008 | 45.86 | 69.20 | 115.06 |
| 2013 | 32.13 | 61.70 | 93.83 |
| 2016 | 34.07 | 63.17 | 97.24 |
| 2020 | 35.93 | 62.50 | 98.43 |

## 4.3. Paisajes hidrológicos

La cartografía de los paisajes hidrológicos permite obtener una caracterización adecuada de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas (cabecera, captación-transporte y emisión), lo cual es esencial para comprender la dinámica del uso del suelo en las cuencas hidrográficas (Cotler & Priego, 2003). El paisaje dominante en la cuenca de la Laguna de Atotonilco es el de montañas diseccionadas, el cual representa un 51.37% de su superficie, seguido de planicies onduladas, acolinadas y subhorizontales con un 28.45% y finalmente los lomeríos diseccionados con un 20.18% (ver Tabla 4.2). La distribución de estos paisajes en el territorio de la cuenca se encuentra representados en la Figura 4.1. Se puede apreciar que las montañas, el complejo volcánico La Primavera al Norte, las sierras de El Madroño, el Área de Protección hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos al Este, la Sierra La Difunta y el cerro Los Novillos al Sur, el cerro

La Timbinal y el Cerro El Monte Negro al Oeste son los complejos de montaña que dominan el paisaje de la cuenca. Los lomeríos y planicies de la cuenca están mayormente ocupados por las actividades agrícolas y los asentamientos humanos constituidos por áreas urbanas y suburbanas, tal como se describió anteriormente en el Capítulo 1.

**Tabla 4. 2.** Paisajes dominantes en la cuenca

| Componentes del paisaje Hidrológico | Clases | Claves* | Superficie km² |
|---|---|---|---|
| Planicie subhorizontales | Valles Sub-horizontales | *Dv < 2.5* | 16.2 |
| Planicie ondulada - Ligeramente diseccionada | Valles | *2.5 < Dv <5* | 19.0 |
| Planicie ondulada - Medianamente diseccionada | Valles | *5 < Dv < 10* | 41.8 |
| Planicie ondulada - Fuertemente diseccionada | Valles | *10 < Dv < 15* | 37.9 |
| Planicie acolinadas - Ligeramente diseccionada | Colinas | *15 < Dv < 20* | 22.6 |
| lanicie acolinadas - Medianamente diseccionada | Colinas | *20 < Dv < 30* | 42.9 |
| Planicie acolinadas - Fuertemente diseccionada | Colinas | *30 < Dv < 40* | 34.6 |
| Lomerío - Ligeramente diseccionada | Lomas | *40 < Dv < 60* | 55.4 |
| Lomerío - Medianamente diseccionada | Lomas | *60 < Dv < 80* | 49.5 |
| Lomerío - Fuertemente diseccionada | Lomas | *80 < Dv < 100* | 47.5 |
| Montaña - Ligeramente diseccionada | Montaña | *100 < Dv < 250* | 247.3 |
| Montaña - Medianamente diseccionada | Montaña | *250 < Dv < 500* | 113.9 |
| Montaña - Fuertemente diseccionada | Montaña | *Dv > 500* | 26.8 |
| | | **Total** | **755.32** |

* La disección vertical (Dv) es una clasificación morfométrica del relieve que representa la diferencia altitudinal entre el punto más alto y el más bajo en un área de 1 km².

**Figura 4. 1.** Mapa de paisajes dominantes de la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.4. Pendiente de la cuenca

La pendiente de la cuenca es un parámetro muy importante en el estudio de cuencas, influye, entre otras cosas, en el tiempo de concentración de las aguas en un determinado punto del cauce. A mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escurrimiento en la red de drenaje y afluentes del cauce principal (Campos, 1992). Existen diversos criterios y métodos para la estimación de este parámetro, los cuales se encuentran hoy en día incorporados a programas como el ArcGIS 10.8 (ESRI, 2020).

La Tabla 4.3 describe de forma cuantitativa que una parte importante de la superficie de la cuenca está dominada por pendientes suaves menores a un 3% en donde predominan las actividades agrícolas. Sin embargo, como se señaló anteriormente, en una parte importante del territorio dominan las superficies onduladas y escarpadas debido a la existencia de lomeríos y montañas, lo cual se refleja en pendientes que van desde ligeramente hasta fuertemente inclinadas, así como estructuras escarpadas. La Figura 4.2 describe de forma gráfica esta distribución en la cuenca.

**Tabla 4. 3.** Descripción de las pendientes en la cuenca

| Descripción | Características | Pendiente | Superficie ha | Superficie km$^2$ |
|---|---|---|---|---|
| A nivel/ casi nivel | Denudación no apreciable; por su condición transitable y laborable, es objeto de uso agrícola, solamente se dificulta su uso bajo condiciones secas. | < 3 | 31,070.17 | 310.70 |
| Ligeramente inclinada/ ligeramente ondulada | Laderas afectadas especialmente por erosión hídrica en sectores desprovistos | 3 - 5 | 5,474.12 | 54.74 |
| Moderadamente inclinada/moderadamente | Laderas que pueden generar movimientos en masa de diferentes clases y baja velocidad, especialmente solifluxión. | 5 -12 | 13,392.44 | 133.92 |
| Fuertemente inclinada/fuertemente ondulada | Movimientos en masa de todo tipo, especialmente solifluxión, reptación erosión en surcos, ocasionalmente deslizamientos. | 12 - 25 | 13,103.57 | 131.04 |
| Fuertemente quebrada/ ligeramente escarpada | Procesos denudacionales intensivos de diferentes clases zonas con reemplazos forestales evidencias claras de erosión del suelo. | 25 - 50 | 8,748.70 | 87.49 |
| Moderadamente escarpada | Desprendimiento de rocas, coluviación. | 50 - 75 | 2,703.58 | 27.04 |
| Fuertemente escarpada | Caída de rocas por efectos de tectonismo e intemperismo biológico. | > 75 | 1,039.51 | 10.40 |
| | | **Total** | **75,532.08** | **755.32** |

**Figura 4. 2.** Mapa de pendientes en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.5. Índice topográfico de humedad

El Índice Topográfico de Humedad (*ITH*) (*TWI* o *CTI* por sus siglas en inglés) permite identificar los lugares potenciales donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de agua. La obtención de este indicador está basada en el análisis morfológico del territorio pudiendo ser utilizado para la elaboración de inventarios de zonas húmedas potenciales o identificar los límites de las láminas de una masa de agua ya existente.

Por tal motivo, la topografía es un determinante importante de la distribución de la humedad del suelo (SM) y, por tanto, impulsa el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, incluida la composición y estructura de la vegetación.

El cálculo *ITH* se basa en una secuencia de análisis de Modelos Digitales de Elevación (MDE) y su morfología para identificar las zonas con mayor potencial de acumulación de humedad. El resultado será un grupo de zonas territoriales de gran potencial de recepción de agua pudiendo delimitarlas como zonas potenciales de surgencia de humedales y combinarlo con otras técnicas analíticas como análisis multiespectrales, análisis de avenidas o estudios de suelos (ver Figura 4.3).

Para localizar las zonas húmedas potenciales y calcular el Índice Topográfico de Humedad (ITH) deberemos de contar con un Modelo Digital de Elevación (MDE) inicial. El cálculo del ITH parte del análisis de direcciones de flujo, pendientes y una corrección del MDE, tanto en términos de resolución como de llenado de sumideros (Hojati & Mokarram, 2016). El resultado del ITH brindan información útil para rastrear en qué parte del paisaje dentro de la cuenca de la Laguna de Atotonilco se puede acumular agua durante los eventos de lluvia; este índice geoespacial para identificar de manera predictiva ubicaciones propensas a inundaciones en áreas urbanas y prevenir inundaciones dentro de la cuenca.

**Figura 4. 3.** Mapa del índice topográfico de humedad en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.6. Precipitación pluvial

La precipitación pluvial es el fenómeno meteorológico por el cual el vapor de agua se condensa en las nubes y cae a la tierra en forma de lluvia. La forma de medirla es a través de un pluviómetro y sus unidades son mm/año. La precipitación media es el promedio a largo plazo en profundidad (sobre espacio y tiempo) de precipitación anual en un territorio determinado. En la cuenca de la Laguna de Atotonilco la precipitación media anual oscila entre los 700 – 850 mm en las regiones donde dominan los lomeríos y planicies, mientras que en las montañas la precipitación llega a alcanzar los 1,000 mm (ver Tabla 4.4 y Figura 4.4).

**Tabla 4. 4.** Distribución de la precipitación media anual en la cuenca calculada para el periodo 1963 -2019

| Precipitación | Superficie ha | Superficie km$^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|---|
| 550 - 600 | 12.83 | 0.1 | 0.02% |
| 600 - 650 | 2,095.47 | 20.95 | 2.77% |
| 650 - 700 | 4,837.04 | 48.37 | 6.40% |
| 700 - 750 | 9,756.27 | 97.56 | 12.92% |
| 750 - 800 | 18,821.89 | 188.22 | 24.92% |
| 800 - 850 | 24,667.55 | 246.68 | 32.66% |
| 850 - 900 | 14,171.57 | 141.72 | 18.76% |
| 900 - 950 | 1,169.10 | 11.69 | 1.55% |
| 950 - 1000 | 0.32 | 0.00 | 0.00% |
| **Total** | **75,532.08** | **755.32** | **100.00%** |

**Figura 4. 4.** Mapa de distribución media anual de la precipitación en la cuenca calculada para el periodo 1963 -2019
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

La precipitación máxima en 24 horas se registra en el programa de observaciones de prácticamente todas las estaciones meteorológicas de México y corresponde a la precipitación ocurrida entre las 07 horas de un cierto día y las 07 horas del día siguiente, periodo que se conoce como "Día Pluviométrico". A partir de las cantidades diarias de precipitación se calculan las máximas mensuales y de la serie histórica de máximas mensuales se deducen las máximas absolutas para cada lugar de medición. Con esta información se construyen los mapas mensuales y el anual de las lluvias máximas en 24 horas, los cuales ilustran el comportamiento espacial de estos eventos extremos (Campos-Aranda, 2010).

Como puede apreciarse en la Tabla 4.5 las precipitaciones máximas en 24 horas dentro de la cuenca alcanzaron un valor de 100 – 120 mm en 54.31% del territorio y estas se presentaron en las áreas de colinas y valles localizadas en las partes bajas de la cuenca en donde se localizan tanto la Presa San Pedro Valencia como la propia Laguna de Atotonilco (ver Figura 4.5). Sin embargo, el registro de las precipitaciones de mayor intensidad se presenta en la parte Norte y Noreste de la cuenca hacia el bosque de La Primavera y Tlajomulco de Zúñiga en donde los registros indican precipitaciones máximas en 24 horas entre los 140 - 180 mm, lo que podría representar hasta un 22.5% de una precipitación de 800 mm que abarca la mayor parte del territorio.

**Tabla 4. 5.** Distribución de la precipitación máxima en 24 horas promedio anual en la cuenca observada durante el periodo 1963 -2019

| Precipitación máxima en 24 horas | Superficie km$^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|
| 80 - 100 | 20.74 | 2.75% |
| 100 - 120 | 410.19 | 54.31% |
| 120 - 140 | 140.47 | 18.60% |
| 140 - 160 | 126.79 | 16.79% |
| 160 - 180 | 39.79 | 5.27% |
| > 180 | 17.34 | 2.30% |
| | **755.32** | **100.00%** |

**Figura 4. 5.** Mapa de precipitación máxima de 24 horas en la cuenca observada durante el periodo 1963 -2019
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.7. Evapotranspiración

Evapotranspiración (ET) es la consideración conjunta de dos procesos diferentes: la evaporación y la transpiración. La evaporación es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor (habría que añadir la sublimación –sólido a vapor– desde la nieve y el hielo) (Sánchez-San Román, s.f.). Se produce evaporación desde:

a) La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación.

b) Desde las superficies de agua (ríos, lagos, embalses).

c) Desde el suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo. Puede tratarse de agua recién infiltrada o, en áreas de descarga, de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido en el subsuelo.

La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera. Toman agua del suelo a través de sus raíces, una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran. Dado que son difíciles de medir por separado, y además en la mayor parte de los casos lo que interesa es la cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera sea del modo que sea, se consideran conjuntamente bajo el concepto mixto de ET (Sánchez-San Román, s.f.).

Para el hidrólogo el interés de la *ET* se centra en la cuantificación de los recursos hídricos de una zona: lo que llueva menos lo que se evapotranspira será el volumen de agua disponible. La ET se estudia principalmente en el campo de las ciencias agronómicas, donde la ET se considera pensando en las necesidades hídricas de los cultivos para su correcto desarrollo. Fórmulas y métodos que se utilizan en la ciencia de la Hidrología provienen de ese campo de investigación (Sánchez-San Román, s.f.).

Como puede apreciarse en la Tabla 4.6 las tasas de evapotranspiración en la cuenca oscilan entre los 600 y los 800 mm siendo la tasa de 700 – 750 mm la que mayor representatividad tiene puesto que esta se presenta en más del 74% del territorio, comprendiendo las áreas en donde dominan las colinas y valles (ver Figura 4.6). Hacia el Norte de la cuenca en donde se localiza el bosque de La Primavera y en la región donde se localiza la cabecera municipal de Acatlán de Juárez es donde se presentan las mayores tasas de evapotranspiración, alcanzando los 750 – 800 mm (ver Figura 4.6).

**Tabla 4. 6.** Distribución de la evapotranspiración real en la cuenca medida para el periodo 1963 -2019

| Evapotranspiración real | Superficie $km^2$ | Porcentaje del total % |
|---|---|---|
| 600 - 650 | 14.90 | 1.97% |
| 650 - 700 | 75.18 | 9.95% |
| 700 - 750 | 560.59 | 74.22% |
| 750- 800 | 104.65 | 13.86% |
| **Total** | **755.32** | **100.00%** |

**Figura 4. 6.** Mapa de evapotranspiración real en la cuenca medida para el periodo 1963 -2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.8. Variabilidad de las precipitaciones en la cuenca

En la Figura 4.7 no es posible observar un patrón de ocurrencia de acumulaciones anuales de precipitación, con cambio entre años muy y poco lluviosos. Analizando los resultados en Tabla 4.7 la media estimada fue de 792.93 mm, con una desviación estándar de 100.75 mm y una varianza de 10,150.93. Las mayores precipitaciones anuales ocurrieron en los años de 1967 (1,014.54 mm) y 1992 (1,077.23 mm), por encima de los 1,000 mm anuales. Por otro lado, las precipitaciones más bajas se dieron en los años 1979 (616.55 mm), 1989 (620.45 mm), 1995 (665,60 mm), 2000 (662.85), 2005 (624.54 mm) y 2011 (654.63 mm), todas inferiores a 700 mm. El coeficiente de variación fue de 12.71%, significa una dispersión moderada de los datos con relación a su media. El coeficiente de asimetría muestra una distribución simétrica (0.38) y el coeficiente de curtosis -0.05 negativa indica que los datos presentan valores atípicos menos extraordinarios que una distribución normal, representa que la distribución es platicúrtica más aplanada que la curva normal.

**Figura 4.7.** Serie temporal de la precipitación anual estimada para la cuenca 1963 a 2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 4. 7.** Estadística básica de los datos de precipitación anual en la cuenca

| Parámetro | Valor estimado |
|---|---|
| Número | 57 |
| Mínima | 616 |
| Media | 792.93 |
| Máxima | 1077.23 |
| Desviación estándar | 100.75 |
| Varianza | 10150.93 |
| Q1 | 721.55 |
| Mediana | 788.34 |
| Q3 | 869.99 |
| Asimetría | 0.38 |
| Coeficiente de curtosis | -0.05 |
| Coeficiente de variación | 12.71 |

Las características de la distribución de la precipitación anual se pueden representar por la distribución de frecuencias, representada por la Tabla 4.8 y la Figura 4.8. La clase de mayor frecuencia absoluta fue 748 mm y 814 mm anuales, un total de 14 ocurrencias, representan 25% de todos los registros. La clase entre 682 mm y 814 mm al igual que la clase 880 y 946 mm se acumulan en 11 ocurrencias para cada clase representa 19% de todos los registros individualmente. Las menores frecuencias absolutas se localizan en la clase 1,012 mm a 1,078 mm con un total de dos ocurrencias, representan el 4%, seguida de la clase 946 mm a 1,012 mm con un total de una ocurrencia, representan el 2%. La mayor concentración de datos se da en las clases céntricas y la menor en el extremo superior.

**Tabla 4. 8.** Distribución de frecuencias de la precipitación anual en la cuenca

| Orden | Clases | Frecuencia absoluta | Frecuencia acumulada | Frecuencia relativa (%) | Frecuencia real acumulada (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | (616 - 682) | 9 | 9 | 16% | 16% |
| 2 | (682 - 748) | 11 | 20 | 19% | 35% |
| 3 | (748 - 814) | 14 | 34 | 25% | 60% |
| 4 | (814 - 880) | 9 | 43 | 16% | 75% |
| 5 | (880 - 946) | 11 | 54 | 19% | 95% |
| 6 | (946 - 1012) | 1 | 55 | 2% | 96% |
| 7 | (1012 - 1078) | 2 | 57 | 4% | 100% |

**Figura 4. 8.** Distribución de frecuencias de la precipitación anual en la cuenca 1963 a 2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Los valores de precipitación mensual, en el periodo de 1963 a 2019 para la cuenca de la Laguna de Atotonilco, se muestran en una representación gráfica del fenómeno analizado para extraer informaciones sobre series

temporales. En la Figura 4.9 representa la serie de tiempo de la precipitación mensual, no es posible comprobar ocurrencia de patrones en la serie temporal. A partir de ahí se analizaron la variación decenal de las precipitaciones media, máxima y mínima y la distribución de frecuencias.

**Figura 4. 9.** Serie de tiempo de la precipitacón mensual en la cuenca de 1963 a 2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

En la Figura 4.10 se observaron las variaciones en la precipitación entre décadas de 1963 a 2019. Durante las décadas de 1981-1990, 1991-2000 y 2001-2010, las precipitaciones acumuladas fueron mayores que en las décadas de 1963-1970 y 1971-1980. La década más reciente de 2011-2019 presento las precipitaciones acumuladas más bajas. Esta variación es más evidente en la categoría de precipitación máxima, que en las precipitaciones medias y mínimas. Con esto, se puede inferir que existen crestas en las precipitaciones en décadas alternadas, lo que puede estar relacionado con patrones de conexión entre trópicos–tópicos y trópicos extra-topicos que pueden resultar en variaciones de precipitación entre décadas, requiriendo mayores investigaciones.

**Figura 4. 10.** Variación entre décadas de precipitación mensual en la cuenca de 1963 a 2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Las características de la distribución de la precipitación mensual se representan por la distribución de frecuencias, en la Tabla 4.9 y la Figura 4.11. A partir del histograma de frecuencias (Figura 4.11), se observa que las mayores cantidades de eventos de precipitación mensual se dan en el rango entre 0 mm y 31 mm características de precipitaciones mínimas, concentrando el 53% del total de las frecuencias. Cuanto mayor es la precipitación mensual, menor es la frecuencia de ocurrencias, como se observa en los rangos superiores a 217 mm, totalizan 27 ocurrencias, representa el 4% del total.

**Tabla 4. 9.** Distribución de frecuencias de la precipitación mensual en la cuenca

| Orden | Clases | Frecuencia absoluta | Frecuencia acumulada | Frecuencia relativa (%) | Frecuencia real acumulada (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | (0 - 31) | 362 | 362 | 53% | 53% |
| 2 | (31 - 62) | 62 | 424 | 9% | 62% |
| 3 | (62 - 93) | 36 | 460 | 5% | 67% |
| 4 | (93 - 124) | 41 | 501 | 6% | 73% |
| 5 | (124 - 155) | 58 | 559 | 8% | 82% |
| 6 | (155 - 186) | 52 | 611 | 8% | 89% |
| 7 | (186 - 217) | 46 | 657 | 7% | 96% |
| 8 | (217 - 248) | 17 | 674 | 2% | 99% |
| 9 | (248 - 279) | 5 | 679 | 1% | 99% |
| 10 | (279 - 310) | 5 | 684 | 1% | 100% |

**Figura 4. 11.** Frecuencia de la precipitación mensual en la cuenca de 1963 a 2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Se empleó el índice de estacionalidad a la cuenca de la Laguna de Atotonilco de Walsh & Lawler (1981), diseñado para cuantificar los sistemas lluviosos de áreas extensas en función de la variación estacional de la precipitación, tanto para el año promedio con respecto a su deterioro interanual, lo que asegura un grado de confiabilidad aceptable en la definición de cada régimen.

En la Figura 4.12, representa el índice estacional para el modelo multiplicativo, los resultados muestran que presenta las mismas influencias negativas que positivas. Los índices positivos ocurren entre los meses de junio a septiembre (año hidrológico), con un máximo de 16.57% en julio, 11.60% en junio, 11.35% en agosto y 9.18% para septiembre, significa que los acumulados mensuales de los meses de junio y julio aumentan con relación al promedio de esos meses en la serie temporal.

Los índices negativos ocurren entre los meses de octubre y mayo, con una variación negativa que va de -1.63% para el mes de octubre y -7.74% para el mes de abril (ver Figura 4.12). A lo largo del período analizado, el aumento porcentual de la precipitación ocurre durante las estaciones primavera/verano, es la estación húmeda en la cuenca y la disminución porcentual de la precipitación ocurre en la estación otoño/invierno, temporada de estiaje (secas). Estos resultados son alarmantes debido en gran medida a que en este periodo se almacena agua de lluvia para el abastecimiento agrícola, industrial, público, urbano y servicios, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria y la degradación de los recursos hídricos en la cuenca de la Laguna de Atotonilco.

**Figura 4. 12.** Índice estacional de la precipitación mensual
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

En la Figura 4.13, es posible percibir un patrón de ocurrencia de acumulación diaria de la precipitación, con cambio entre años muy y poco lluviosos, años muy lluvioso fueron 1964, 1966, 1968, 1983, 1990, 1992, 1996, 1998, 2001, 2005. Años poco lluviosos 1973, 1984, 1985, 1989, 1994, 2006, 2011, 2016. Las características de la distribución de la precipitación diaria se representan por la distribución de frecuencias, en la Tabla 4.10 y la Figura 4.14. La clase de mayor frecuencia absoluta fue entre 0.0 mm y 7 mm, un total de 18,192 ocurrencias, representan 90% de todos los registros, la clase 7 mm a 14 mm un total de 858 ocurrencias, representan 4%, la clase 14 mm a 21 mm un total de 485 ocurrencias, representan 2%, la clase 21 mm a 28 mm un total de 238 ocurrencias, representan 1% y la clase 28 mm a 35 mm un total de 153 ocurrencias, representan 1%. El 98% de las precipitaciones se encuentran por abajo de los 35 mm para toda la cuenca. Solo un 2% supera

los 35 mm y el 0.02% supera los 84 mm. La mayor concentración de datos se da en las clases menores en el extremo inferior (ver Figura 4.14).

**Figura 4. 13.** Serie de tiempo de la precipitación diaria en la cuenca de 1963 a 2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 4. 10.** Distribución de frecuencias de la precipitación diaria en la cuenca

| Orden | Clases | Frecuencia absoluta | Frecuencia acumulada | Frecuencia relativa (%) | Frecuencia real acumulda (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | (0 - 7) | 18192 | 18192 | 90% | 90% |
| 2 | (7 - 14) | 858 | 19050 | 4% | 95% |
| 3 | (14 - 21) | 485 | 19535 | 2% | 97% |
| 4 | (21 - 28) | 238 | 19773 | 1% | 98% |
| 5 | (28 - 35) | 153 | 19926 | 1% | 99% |
| 6 | (35 - 42) | 95 | 20021 | 0.472% | 99% |
| 7 | (42 - 49) | 48 | 20069 | 0.238% | 99.623% |
| 8 | (49 - 56) | 37 | 20106 | 0.184% | 99.806% |
| 9 | (56 - 63) | 19 | 20125 | 0.094% | 99.901% |
| 10 | (63 - 70) | 10 | 20135 | 0.050% | 99.950% |
| 11 | (70 - 77) | 3 | 20138 | 0.015% | 99.965% |
| 12 | (77 - 84) | 4 | 20142 | 0.020% | 99.985% |
| 13 | (84 - 91) | 1 | 20143 | 0.005% | 99.990% |
| 14 | (91 - 98) | 1 | 20144 | 0.005% | 99.995% |
| 15 | (98 -105) | 1 | 20145 | 0.005% | 100% |

**Figura 4. 14.** Frecuencia de la precipitación diaria en la cuenca de 1963 a 2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

El "período de retorno o de recurrencia" (T) es el intervalo medio expresado en años en el que un valor extremo alcanza o supera al valor "x", al menos una sola vez (Elías & Ruiz, 1979). Para estimar los periodos de retorno en la cuenca de la Laguna de Atotonilco se manejó la información diaria (24 horas) máxima por año de precipitación, los modelos utilizados fueron datos históricos de precipitación (1963-2019), distribución Gumbel, Log-Pearson Tipo III, Lognormal para estimar los periodos de retorno a 1, 1.5, 2, 5, 10, 20, 50, 80, 100, 150, 200, 250, 500 años.

En la Tabla 4.11 y la Figura 4.15 se definen los periodos de retorno calculados para cada modelo utilizado y el ajuste (promedio). El resultado del periodo de retorno a un año fue de 34.96 mm las precipitaciones simulan la distribución natural dentro de la cuenca, propiciando la distribución de las comunidades vegetales en la cuenca. El periodo de retorno a un año y medio con 57.43 mm de precipitación se presenta principalmente durante el periodo de lluvias, este volumen de agua es necesario para preservar la zona lacustre de la Laguna de Atotonilco, conserva la forma física del contorno de la laguna, remueve los sedimentos de arenas, gravas y rocas, previniendo la invasión de la vegetación de ribera, después de un periodo de precipitaciones bajas.

El periodo de retorno de cinco años con 76.83 mm estas precipitaciones está marcado por inundaciones que se dan en la cuenca, este periodo de retorno de la lluvia conserva la morfología de la laguna y el transporte de sedimentos, removiendo los sedimentos del fondo. Esto mantiene la cubierta vegetal de los corredores lacustre en buen estado.

Los periodos de retorno de 10 años. Estos valores están usualmente asociados con áreas de drenaje menores a 100 ha. Para estas áreas, se puede utilizar el método racional para obtener la descarga pico. En ciertos casos, particularmente para áreas que exceden las 100 ha, se pueden usar períodos de retorno más largos.

La idea de establecer un período de retorno de 100 años o más como norma para los cálculos de inundaciones en los Estados Unidos se atribuye ampliamente, pero presumiblemente no del todo con precisión. El período de retorno de 100 años significa cuatro generaciones. Es un número no muy alto y no muy bajo. El valor de 100 años no implica que la estructura estará en riesgo de falla cada 100 años.

**Tabla 4. 11.** Periodo de retorno en años y sus modelos ajustados en la cuenca

| Periodo de retorno (años) | Histórico | AJUSTE Distribución Gumbel | Log-Pearson Tipo III | Log-normal | Promedio |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 35.00 | - | 34.22 | 35.66 | 34.96 |
| 1.5 | 58.30 | 56.61 | 57.60 | 57.22 | 57.43 |
| 2 | 62.00 | 62.40 | 63.53 | 63.04 | 62.74 |
| 5 | 78.00 | 76.63 | 76.41 | 76.27 | 76.83 |
| 10 | 70.14 | 86.05 | 83.81 | 84.27 | 81.07 |
| 20 | 91.00 | 95.09 | 90.26 | 91.50 | 91.96 |
| 50 | 101.00 | 106.79 | 97.88 | 100.37 | 101.51 |
| 80 | - | 112.74 | 101.51 | 104.73 | 106.33 |
| 100 | - | 115.56 | 103.18 | 106.76 | 108.50 |
| 150 | - | 120.67 | 106.13 | 110.41 | 112.41 |
| 200 | - | 124.30 | 108.18 | 112.97 | 115.15 |
| 250 | - | 127.10 | 109.73 | 114.94 | 117.26 |
| 500 | - | 135.82 | 114.43 | 120.97 | 123.74 |

**Figura 4. 15.** Periodo de retorno establecido para la cuenca de la Laguna de Atotonilco (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.9. Escurrimiento superficial

El escurrimiento superficial es la parte de la precipitación que llega a alimentar a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes de una cuenca. Existen distintos tipos de escurrimiento dependiendo de su procedencia: a) escurrimiento superficial o directo, b) escurrimiento hipodérmico o subsuperficial y c) escurrimiento subterráneo (Sánchez-San Román, s.f.).

En la cuenca de la Laguna de Atotonilco se puede apreciar que las láminas del escurrimiento superficial promedio anuales varían mayormente entre los 150 – 270 mm y estas se encuentran distribuidas de forma heterogénea dentro del territorio. Sin embargo, en un 83.34% del territorio predominan los escurrimientos que varían entre los 190 y los 250 mm representando con ello un poco menos de un tercio de la precipitación promedio anual que se presenta en la mayor parte del territorio, la cual es de cerca de 800 mm (ver Tabla 4.12 y Figura 4.16).

**Tabla 4. 12.** Distribución del escurrimineto superficial promedio anual en la cuenca calculada para el periodo 1963 -2019

| Clases | Superficie km$^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|
| < 150 | 11.34 | 1.50% |
| 150 - 170 | 6.33 | 0.84% |
| 170 - 190 | 40.81 | 5.40% |
| 190 - 210 | 190.68 | 25.25% |
| 210 - 230 | 229.13 | 30.34% |
| 230 - 250 | 209.62 | 27.75% |
| 250 - 270 | 31.81 | 4.21% |
| > 270 | 5.88 | 0.78% |
| Cuerpos de agua | 29.69 | 3.93% |
| **Total** | **755.29** | **100.00%** |

**Figura 4. 16.** Mapa de escurrimientos en la cuenca calculada para el periodo 1963 -2019 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.10. Extracción del agua superficial

El agua superficial es producto de los escurrimientos hacia los cauces (ríos y canales) y se embalsa en cuerpos de agua naturales y artificiales dentro de la cuenca de la Laguna de Atotonilco. La existencia de disponibilidad media anual de agua superficial, conforme a la Ley de Aguas Nacionales mexicana, es condicionante para la autorización de nuevas concesiones o asignaciones en una cuenca (Silva-Hidalgo *et al.*, 2013).

Con datos extraídos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020d), de la Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua en el listado de Anexos Concesionados en el Estado de Jalisco Correspondientes a Aguas Superficiales de los municipios de Villa Corona, Jocotepec, Acatlán de Juárez, Tlajomulco de Zúñiga y Tala que forman la cuenca de la Laguna de Atotonilco, los datos mostraron que existe una extracción total de agua superficial concesionada actualizada de 22.18 $hm^3$, de este volumen concesionado 20.68 $hm^3$ corresponden a la agricultura que representan el 93.26% del volumen total concesionado para la cuenca con 15 sitios de extracción (ver Tabla 4.13 y Figura 4.18). De acuerdo con la Tabla 4.14, el municipio de Acatlán de Juárez es el que tiene el mayor volumen de agua para la agricultura con 20.42 $hm^3$, lo cual representa un 92.06% del total concesionado.

El volumen de extracción para público urbano es de 0.83 $hm^3$ que representa el 3.74% y para los usos múltiples alcanzó un volumen concesionado de 0.56 $hm^3$ con un 2.53% para toda la cuenca, con 23 y 14 sitios de extracción respectivamente (ver Tabla 4.13 y Figura 4.17).

A nivel municipal se delimitó que el municipio de Acatlán de Juárez cuenta con 25 sitios de extracción de aguas superficial, seguido del municipio de Tala con 17 y Tlajomulco de Zúñiga con 16 sitios (ver Figura 4.18). En lo que concierne al volumen concesionado, se definió que el municipio de Acatlán de Juárez alcanzó el mayor volumen concesionado con 21.01 $hm^3$, seguido del municipio de Tala con 0.81 $hm^3$ (ver Tabla 4.14).

**Tabla 4. 13.** Volumen concesionado de agua superficial para los diferentes usos del agua (hm³/año) y el número de sitios de extracción en la cuenca

| Usos | Número sitios de extracción | Sitios % | Volumen hm³/año | Volumen% |
|---|---|---|---|---|
| Agrícola | 15 | 21% | 20.68 | 93.26% |
| Diferentes usos | 1 | 1% | 0.005 | 0.02% |
| Usos múltiples | 14 | 19% | 0.56 | 2.53% |
| Pecuario | 19 | 26% | 0.09 | 0.41% |
| Público urbano | 23 | 32% | 0.83 | 3.74% |
| Servicios | 1 | 1% | 0.01 | 0.05% |
| **Total** | **73** | **100%** | **22.18** | **100%** |

**Tabla 4. 14.** Volumen concesionado de agua superficial por municipio para los diferentes usos del agua (hm³/año) en la cuenca

| Usos / municipios | Acatlán de Juárez | Tlajomulco de Zúñiga | Jocotepec | Tala | Villa Corona |
|---|---|---|---|---|---|
| Agrícola | 20.42 | 0.01 | 0.02 | 0.23 | 0.01 |
| Diferentes usos | - | - | - | - | - |
| Usos múltiples | - | - | - | 0.50 | 0.06 |
| Pecuario | - | 0.02 | 0.02 | 0.05 | - |
| Público urbano | 0.59 | - | 0.01 | 0.04 | 0.19 |
| Servicios | 0.01 | - | 0 | - | - |
| **Total** | **21.01** | **0.03** | **0.05** | **0.81** | **0.27** |

**Figura 4. 17.** Mapa descriptivo de los aprovechamientos de agua superficial en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Figura 4. 18.** Número de sitios de extracción de aguas superficiales de los municipios que forman la cuenca de la Laguna de Atotonilco
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.11. Extracción del agua subterránea

El agua subterránea constituye la principal fuente de agua potable en la cuenca de la Laguna de Atotonilco, la función típica de este humedal que se encuentran en terrenos altos suele ser la recarga de los acuíferos que reposan bajo su manto, mientras que los que se encuentran en elevaciones menores suelen recibir la mayoría de sus aguas del subsuelo (Mitsch & Gosselink, 1993).

Desde un punto de vista ambiental, la interfase de agua subterránea y superficial facilita la supervivencia de una gran diversidad de especies, es así como los humedales en ámbitos subhúmedos travesean un rol prioritario relacionado con los microclimas para la existencia de vegetación, fauna y los seres humanos (Grimm *et al.*, 1997).

De acuerdo con los registros del registro público de derechos de agua (REPDA) de la CONAGUA (2020), en la cuenca se extraen anualmente 77.92 $hm^3$ de agua subterránea, los mayores aprovechamientos del recurso de aguas subterráneas son para la agricultura con más del 68.55% de los

volúmenes concesionados, seguido de los usos múltiples con un 10.10% en donde igualmente cabe el uso agrícola; los servicios, el uso público urbano y el uso doméstico representan el 13.3%; la industria contribuye con un 7.42% de las extracciones. El uso pecuario y otros usos representan la menor proporción de los usos de agua subterránea en la cuenca. La Tabla 4.15 muestra igualmente que en el REPDA se cuenta con 1,279 pozos registrados y los volúmenes concesionados.

**Tabla 4. 15.** Aprovechamiento de las aguas subterráneas en la cuenca

| Usos | Pozos | Volumen ($m^3$/año) | Volumen ($hm^3$/año) | Pozos % | Volumen % |
|---|---|---|---|---|---|
| Agrícola | 925 | 53,417,766.69 | 53.41 | 72.30% | 68.55% |
| Diferentes usos | 12 | 384,761.00 | 0.38 | 1.00% | 0.49% |
| Doméstico | 2 | 10,176.00 | 0.01 | 0.20% | 0.01% |
| Industrial | 28 | 5,776,643.00 | 5.78 | 2.00% | 7.42% |
| Pecuario | 41 | 102,586.25 | 0.1 | 3.00% | 0.13% |
| Público urbano | 49 | 4,097,324.00 | 4.1 | 4.00% | 5.26% |
| Servicios | 51 | 6,263,103.40 | 6.26 | 4.00% | 8.03% |
| Usos múltiples | 171 | 7,874,946.70 | 7.87 | 13.40% | 10.10% |
| **Total** | **1,279** | **77,927,307.04** | **77.92** | **100.00%** | **100.00%** |

En lo que corresponde al agua subterránea, en la zona de influencia de la laguna existen alrededor de 25 pozos (17 uso agrícola, 5 balnearios y 3 uso doméstico), 45 norias que no producen agua durante todo el año y 6 manantiales. La densidad de pozos que existen cercanos a Villa Corona presenta abatimiento importante por la cercanía entre ellos, lo que puede presentar un riesgo de hundimiento en el mediano plazo. Existe una veda intermedia desde 1968; se tiene identificado que existe una modificación en el régimen hídrico de las corrientes fluviales de la zona.

Con datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de la Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua en el Listado de Anexos Concesionados en el Estado de Jalisco Correspondientes a Aguas Subte-

rráneas de los municipios de Villa Corona, Jocotepec, Acatlán de Juárez, Tlajomulco de Zúñiga y Tala que forman la cuenca de la Laguna de Atotonilco, los datos mostraron que existe una extracción total anual de agua subterránea concesionada actualizada de 77.92 $hm^3$.

El uso concesionado de extracción de agua subterránea en la cuenca se divide en los siguientes usos: industrial, agrícola, pecuario, público urbano, doméstico, servicios, diferentes usos y usos múltiples. Se precisó un total de 1,279 pozos de extracción (ver Figura 4.19), el uso agrícola es el que predominan con 925 pozos que representan el 72.30% del total, con un volumen estimado de extracción de 53.41 $hm^3$ (ver Tabla 4.15). El uso industrial presentó un volumen de extracción de 5.78 $hm^3$ y represento el 7.42% del volumen concesionado.

Como puede observarse en la Tabla 4.15, el volumen total concesionado en el 2020 de aguas subterráneas alcanzó 77.92 $hm^3$, cifra tres veces mayor al volumen concesionado de aguas superficiales. El principal uso del agua subterránea en la cuenca es en agricultura, con un 68.55% del total, seguido del uso público urbano y servicios con 13.29%, los usos múltiples con un 10.10%, y en menor proporción está la industria con un 7.42%.

**Figura 4. 19.** Mapa descriptivo de aprovechamientos de agua subterránea en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.12. Principales acuíferos en la cuenca

Los principales acuíferos localizados en la cuenca son el de Lagunas, San Isidro y Huejotitán, y con mínima superficie dentro del área de la cuenca hidrográfica están los acuíferos de Ameca, Cajititlán y Chapala. La delimitación administrativa de estos acuíferos se indica en la Figura 4.20.

**Figura 4. 20.** Mapa de delimitación administrativa de los acuíferos en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 4.13. Acuífero Lagunas

El acuífero "Lagunas", geográficamente se localiza en la porción Sureste del estado de Jalisco entre los paralelos 20° 27' y 19° 4 6' y los meridianos 103° 42' y 103° 12'. Limita al Norte con los acuíferos Ameca, San Isidro y Huejotitlán; al Sur con Jiquilpan, Ciudad Guzmán, Unión de Guadalupe y Aguacate; al Este con los acuíferos Tizapán y Chapala y al Oeste con Autlán y Tapalpa. Tiene una extensión superficial, incluyendo la zona de recarga, aproximada de 2,136.77 km$^2$ (ver Figura 4.21) (CONAGUA, 2015a, 2020a).

**Figura 4. 21.** Delimitación administrativa del acuífero Lagunas
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

### *Hidrografía del acuífero*

El acuífero se encuentra en su totalidad en la zona denominada Región Hidrológica Lerma-Santiago (RH12) formado por una cuenca cerrada. Su drenaje es radial, con arroyos perennes e intermitentes que en épocas de lluvias descargan sus aguas a las partes bajas del valle, almacenándose finalmente de manera natural en las lagunas de Atotonilco, San Marcos, Zacoalco y Sayula (CONAGUA, 2020a).

La zona se enmarca en la parte central del estado, formando una depresión natural, denominada playas de Sayula, y en cuya parte más elevada se localizan las lagunas de Atotonilco, San Marcos, Zacoalco y Sayula. Conforman la cuenca dos valles, separados por un promontorio, justamente a la mitad de la longitud Norte-Sur, dividiendo al valle en una porción Norte donde se asientan las Lagunas de Atotonilco, San Marcos y Zacoalco, y en la parte Sur Laguna de Sayula (CONAGUA, 2020a).

La porción más baja de los valles la ocupan las lagunas de referencia, que tienen una extensión variable en cada ciclo anual, dependiendo del temporal de lluvias; en algunos años se llegan a quedar sin agua. Casi todos los años conservan alguna cantidad de agua hasta el mes de junio (CONAGUA, 2020a).

Las playas de las lagunas no tienen, por esta razón, orillas definidas, pueden llegar a extenderse hasta alcanzar el pie de la montaña, constituyendo, en algunos casos, una vega de varios kilómetros de anchura; en otros, solo algunos cientos de metros debido a la condición orográfica del sitio (CONAGUA, 2020a).

El resto de la cuenca se extiende hacia arriba, hasta encontrar los parteaguas de los valles circunvecinos como son el de San Isidro, Chapala, Zapotlán y el Alto de Tapalpa, con elevaciones de hasta de más de 2,500 metros. La elevación de las lagunas es de 1,300 m s.n.m. Las formaciones geológicas que afloran en zona, en gran parte, son origen volcánico y sedimentario, encontrándose basaltos, tobas y calizas principalmente (CONAGUA, 2020a).

### *Tipo de acuífero*

Está constituido por sedimentos lacustres del Cuaternario y con espesores que llegan hasta 1,000 metros, la dirección preferente del flujo subterráneo

es obviamente hacia las lagunas o partes bajas y circula a través de los depósitos aluviales junto con arcillas y limos, todo esto en las partes bajas del acuífero (1,350 m s.n.m), mientras que en las partes altas el flujo subterráneo transita en boleos y estratos de basalto alterados (CONAGUA, 2020a).

### *Profundidad del agua subterránea*

De acuerdo con la configuración piezométrica correspondiente al año de 1998, los niveles del agua subterránea se encuentran a profundidades que van de 3.0 a 18.0 m-dependiendo de la época en que se hagan estas observaciones-, así tenemos que en la época de estiaje los niveles estáticos corresponden con las mayores profundidades, del centro hacia la periferia y en temporada de lluvias empiezan a recuperarse, incrementándose principalmente de la periferia hacia el centro del valle.

### *Disponibilidad media anual de aguas subterráneas*

La disponibilidad de aguas subterráneas constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, la disponibilidad media anual se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$DMA = R - DNC - VEAS$$

$$DMA = 178.7 - 3.0 - 165.86$$

$$DMA = 9.83\ hm^3/año.$$

Donde: DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero, R = Recarga total media anual, DNC = Descarga natural comprometida, VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas.

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de 9,837,300 $m^3$ anuales que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

## 4.14. Acuífero San Isidro

El acuífero San Isidro se localiza al Suroeste de la Ciudad de Guadalajara, en la cuenca de los ríos Vega y Cocula. La zona del acuífero queda comprendida entre las latitudes Norte 20° 22' y 20° 37' y entre las longitudes 103° 27' y 103° 40' al Oeste del meridiano de Greenwich. Las poblaciones de mayor importancia emplazadas en la zona son Santa Cruz de las Flores y San Isidro. La zona comprende una cuenca hidrológica superficial que abarca un área de 357.76 $km^2$ y pertenece políticamente a los municipios de Tlajomulco de Zúñiga, Tala, Acatlán de Juárez y Villa Corona (Figura 4.22) (CONAGUA, 2015b, 2020b).

**Figura 4. 22.** Delimitación administrativa del acuífero San Isidro
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

### *Hidrografía del acuífero*

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1981-2001), el estado de Jalisco queda comprendido en parte de las regiones hidrológicas: "Lerma – Chapala – Santiago" (No. 12) que abarca la mayor parte del estado con 40,213.22 km$^2$; Huicila (No. 13),

pequeña porción en la parte centro Oeste con solo 1,431.63 km$^2$; Ameca (No. 14) en la parte centro Noroeste con 8,884.52 km$^2$; Costa de Jalisco (No. 15) en la parte Suroeste con 11,590.69 km$^2$; Armería – Coahuayana (No. 16) ubicada en el Sur del estado, colindante con Colima con 12,336.62 km$^2$; Alto río Balsas (No. 18), pequeña porción ubicada en la parte SE, con 4,042.72 km$^2$; y el Salado (No. 37), pequeña porción en los límites con el estado de Zacatecas en la parte NE, con 390.67 km$^2$ (CONAGUA, 2020b).

Con base en la clasificación de la Comisión Nacional del Agua, la superficie de la cuenca hidrológica en donde está emplazada la zona acuífera denominada como San Isidro presenta un área de 562 km$^2$, y pertenece a la región hidrológica No.12. La cuenca hasta hace algunos años contaba con cuerpos de agua conocidos como las presas Elizondo, Playa de Santa Cruz, San Cayetano y La Presa Hurtado que es la de mayor importancia y uso con 22.00 Mm$^3$ de capacidad (CONAGUA, 2020b).

### *Tipo de acuífero*

Existe un acuífero superior con espesores que van de los 30 a los 100 m, y otro semiconfinado en la porción central del valle con espesores estimados de 100 a 300 m. Debido a que no existen perforaciones mayores a los 400 m en el centro del valle, es difícil cuantificar de manera más precisa las conexiones hidráulicas con unidades más profundas. Sin embargo, con base a la génesis de la zona se puede inferir que el fallamiento y fracturamiento experimentado en la región proporcionan zonas de conexión hidráulica con unidades más profundas. No obstante, los resultados hidrogeoquímicos e isotópicos no muestran ninguna evidencia de la conexión hidráulica, cuando menos del acuífero superior con zonas profundas del Domo La Primavera (CONAGUA, 2020b).

### *Profundidad del agua subterránea*

De acuerdo con mediciones de los niveles estáticos en 71 pozos y 39 norias, la profundidad al nivel estático fluctuó entre 3.0 y 51.8 m; en las norias, entre 0.8 y 28.7 m. Se seleccionaron 25 pozos profundos y 15 norias para integrar la red de observación. Estos aprovechamientos fueron nivelados y en ellos se determinó la profundidad al nivel en la segunda campaña (CONAGUA, 2020).

*Disponibilidad media anual de aguas subterráneas*

Conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, la disponibilidad media anual se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas (CONAGUA, 2020b).

DMA = R – DNC – VEAS

DMA = 64.2– 19.6 – 46.58

DMA = -1.98 $hm^3$/año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 1,980,620 $m^3$ anuales que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero (CONAGUA, 2020b).

## 4.15. Acuífero Huejotitlán

El acuífero "Huejotitlán"se localiza en la porción central del estado de Jalisco entre los paralelos 20° 24' 36" y 20° 17' 24" y los meridianos 103°33'00" y 103°17'24". Limita al Norte con el acuífero San Isidro, al Este Cajititlán, al Oeste Lagunas y al Sur Chapala (ver Figura 4.20). Tiene una extensión superficial de 120.41 $km^2$, así como una superficie del valle de 50.03 $km^2$ (ver Figura 4.23) (CONAGUA, 2015c, 2020c).

**Figura 4. 23.** Delimitación administrativa del acuífero Huejotitlán
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

### *Hidrografía del acuífero*

Al igual que los acuíferos Lagunas y San Isidro, el acuífero Huejotitlán se encuentra en su totalidad en la zona denominada Región Hidrológica Lerma-Santiago (RH12) formado por una cuenca cerrada (CONAGUA, 2020c).

### *Tipo de Acuífero*

El acuífero Huejotitlán está constituido por sedimentos lacustres del Cuaternario y con espesores que llegan hasta 1,000 metros, la dirección preferente del flujo subterráneo es obviamente hacia las partes bajas y circula a través de los depósitos aluviales junto con arcillas y limos, todo esto en las partes bajas del acuífero, mientras que en las partes altas el flujo subterráneo transita en boleos y estratos de basalto alterados (CONAGUA, 2020c).

### *Profundidad del agua subterránea*

De acuerdo con la configuración piezométrica correspondiente al año de 2005, los niveles del agua subterránea se encuentran a profundidades que van de 1.50 a 41.50 m, los niveles someros se localizan hacia la parte central del valle, profundizándose hacia las estribaciones de las sierras (CONAGUA, 2020c).

### *Disponibilidad media anual de aguas subterráneas*

Conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, la disponibilidad media anual se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas (CONAGUA, 2020c).

$$DMA = R - DNC - VEAS$$

$$DMA = 9.6 - 0.0 - 8.87$$

$$DMA = 0.72\ hm^3/año.$$

El resultado indica que existe un volumen disponible de 724,826 $m^3$ anuales para nuevas concesiones en el Acuífero denominado Huejotitlán, Jalisco (CONAGUA, 2020).

## 4.16. Descargas de aguas residuales

La mayor parte de las aguas residuales generadas por las comunidades asentadas en la cuenca descargan de forma directa las aguas servidas a los canales y arroyos, cuyo punto final de descarga es la Laguna de Atotonilco. La Tabla 4.16 indica las principales comunidades asentadas en la cuenca y su población con datos del censo de población y vivienda de INEGI, 2020.

Considerando un consumo promedio de agua potable per cápita de 150 L/p·d, el volumen total diario de agua potable utilizada por esta población es de 54,750.00 L, lo cual significa un consumo de 3,630,801.00 $m^3$/año, los cuales el 80% se descarga como agua residual sin tratar generando una descarga anual de 2,904,640.80 $m^3$/año, lo cual representa una aportación indirecta aproximada de 2.90 $Mm^3$/año de aguas servidas a la laguna.

**Tabla 4. 16.** Poblaciones asentadas en la cuenca de la Laguna de Atotonilco

| Municipio | Localidad | Longitud | Latitud | Población |
|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | Total del Municipio | 103°35'14" W | 20°25'17" N | 25,250 |
| Villa Corona | Villa Corona | 103°39'41.000" W | 20°24'59.000" N | 8,485 |
| Villa Corona | Atotonilco el Bajo | 103°40'15.000" W | 20°20'54.000" N | 2,653 |
| Villa Corona | Colonia Nueva la Loma | 103°41'05.157" W | 20°21'21.491" N | 50 |
| Jocotepec | Huejotitán | 103°29'15.223" W | 20°21'15.498" N | 1,134 |
| Jocotepec | Zapotitán de Hidalgo | 103°28'38.000" W | 20°19'39.000" N | 3,978 |
| Tlajomulco de Zúñiga | Buenavista | 103°31'14.778" W | 20°27'12.009" N | 2,779 |
| Tlajomulco de Zúñiga | El Tecolote | 103°29'13.592" W | 20°25'47.697" N | 98 |
| Tlajomulco de Zúñiga | La Teja (Agua Amarilla) | 103°23'45.695" W | 20°33'07.289" N | 4 |
| Tlajomulco de Zúñiga | Cruz Vieja (Soledad de Cruz Vieja) | 103°34'24.294" W | 20°29'42.186" N | 656 |
| Tlajomulco de Zúñiga | Cofradía | 103°33'31.983" W | 20°28'18.436" N | 1,835 |
| Tlajomulco de Zúñiga | Santa Cruz de las Flores | 103°30'10.000" W | 20°28'50.000" N | 12,233 |
| Tlajomulco de Zúñiga | Santa Cruz de la Loma (Tepetates) | 103°32'59.007" W | 20°29'17.863" N | 1,375 |
| Tala | La Villita | 103°37'22.972" W | 20°32'29.150" N | 551 |
| Tala | San Isidro Mazatepec | 103°36'51.000" W | 20°31'20.000" N | 4,083 |
| Tala | La Alcantarilla | 103°37'16.991" W | 20°30'51.553" N | 3 |
| Tala | Granjas el Salvial [Fraccionamiento] | 103°35'11.891" W | 20°32'28.832" N | 39 |
| Tala | Teopantli Calpulli | 103°34'54.903" W | 20°33'47.295" N | 49 |
| Tlajomulco de Zúñiga | Lomas de Santa Anita (Colinas de Santa Anita) | 103°29'39.939" W | 20°30'03.046" N | 1,061 |
| | | | **Total** | **66,316.00** |

## 4.17. Modelo del balance hídrico

Derivado del presente estudio, Meza-Rodríguez (2021) aplicó la metodología basada en el Modelo Témez para estimar los componentes del balance hídrico de la cuenca de la Laguna de Atotonilco considerando cada uno de los componentes del ciclo hidrológico del sistema y datos hidroclimáticos de enero de 1963 a diciembre del 2019, con un total de 57 años de datos históricos de estaciones meteorológicas en operación localizadas dentro y en el área de influencia de la cuenca.

El resultado de la estimación de cada uno de los componentes del ciclo hidrológico natural de la cuenca de la Laguna de Atotonilco se muestra en la Figura 4.24. Los valores que se muestran están calculados con la base de datos hidroclimáticos antes mencionada y en donde se estimó un valor de precipitación media para un periodo de 57 años de 599 $hm^3$/año, el escurrimiento superficial fue de 69 $hm^3$/año, la recarga de aguas subterráneas alcanzó 26 $hm^3$/año y la aportación natural a la laguna es de 102 $hm^3$/año. Cabe señalar que la evapotranspiración real en la cuenca se estimó en 471 $hm^3$/año, lo cual representa 78.63% del total del recurso captado durante las lluvias. Esto explica el alto nivel de variabilidad de los niveles de la laguna entre las estaciones de lluvia y estiaje dadas las características someras de la misma.

**Figura 4. 24.** Componentes del ciclo hidrológico en la cuenca (cifras en $hm^3$/año) (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Una aproximación al balance hídrico de la cuenca se muestra en la Figura 4.25, en donde se consideraron las extracciones de agua de las aguas superficiales y subterráneas de acuerdo con los datos de las concesiones proporcionados por la CONAGUA (2020). Ante la falta de infraestructura de saneamiento y reutilización de las aguas residuales, se integró en el balance las descargas de aguas residuales no tratadas que se vierten directamente a los arroyos y canales que descargan en la laguna. En la Figura 4.25 los números en color azul son las cifras calculadas de acuerdo con el ciclo hidrológico natural de la cuenca y en color rojo las que se derivan de las extracciones y descargas antropogénicas.

Como puede observarse en el diagrama de balance de la Figura 4.25, de acuerdo con las cifras oficiales de las concesiones para aguas superficiales y subterráneas, existe un importante déficit en el uso de las aguas subterráneas, situación que se ve reflejada en el recuadro de la recarga de acuíferos en donde hay una diferencia de 26 - 78 = - 52.0 $hm^3$. Este hallazgo permite inferir que los acuíferos de la cuenca están siendo comprometidos debido a que las extracciones superan la recarga natural de los mismos en la cuenca.

**Figura 4. 25.** Aproximación al balance hídrico de la cuenca (cifras en $hm^3$/año para flujos y $hm^3$ para volúmenes de almacenamiento)
(Fuente: J. de Anda-Sánchez, 2021, elaboración propia)

# Capítulo 5

## Caracterización socioeconómica de la cuenca

Ever Sánchez Osorio[1]
María de Lourdes Flores López[1]
Julia Sánchez Gómez[1]
Yair Romero Romero[1]

[1] Investigador Cátedras CONACHYT. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.

## 5.1. Antecedentes históricos

### *Acatlán de Juárez*

Acatlán de Juárez se ubica en la Región Centro de Jalisco, a 45.7 km de la capital del estado, Guadalajara (ver Figura 5.1). Acatlán significa "lugar de abundancia de cañas" y proviene de los vocablos náhuatl *Aka-Tlán*. Otros autores describen los vocablos como *acatl* (caña o carrizo) y *tlán* (lugar): lugar de cañas (Ayuntamiento de Acatlán de Juárez, 2007).

**Figura 5. 1.** Municipio de Acatlán de Juárez
(Fuente: L. A. Olvera-Vargas y D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

El escudo del municipio estuvo a cargo de Humberto Garza Gómez en 1983, es de tipo francés y cortado: contiene un jeroglífico inspirado en el treceavo signo del calendario azteca; haz de carrizo horizontal, como alegoría a al uso dado por Quetzalcóatl; un carruaje que alude a los recorridos de Benito Juárez por México, principalmente su visita al municipio en 1858; el casto y lambrequines se retoman de los españoles; inscripción en latín *Fraternitas, Traditio, progresus* (Gobierno del estado de Jalisco, s.f.-b). Estas simbologías refieren a la estirpe, raíces, identidad, pasado y presente de Acatlán de Juárez.

La fundación del pueblo fue en 1509, cuando los indios cocas derrotados por los purépechas se asentaron en un espacio al que denominaron *Capitanía Coca*. Sin embargo, en este territorio se han encontrado cerámicas prehispánicas que infieren que fue habitado desde el siglo XII y XIII. La primera delimitación del territorio fue en 1550 para evitar conflictos con las poblaciones de Zacoalco, Ahualulco y Ameca, durante el gobierno de Antonio de Mendoza en la Nueva España. En la época colonial también se le conoció como Santa Ana de Aclatán. Para 1824 formó parte del departamento de Zacoalco y en 1891 ya se conoce como municipalidad de Santa Ana Acatlán. En 1906, bajo el título de Villa, adquiere el nombre de Acatlán de Juárez. Finalmente, en 1972 se le reconoce como ciudad (Gobierno del estado de Jalisco, s.f.-b; Inafed, s.f.-b).

### *Jocotepec*

El municipio se localiza en la Región Ciénega del estado de Jalisco, zona occidental del Lago de Chapala (ver Figura 5.2). Jocotepec, antiguamente conocido como *Xolotepec*, significa "lugar de frutos ácidos o agrios". Datos de la *Enciclopedia de los municipios y Delegaciones de México* (Inafed, s/f-c) señalan que el escudo del municipio fue aprobado en 1993, mediante un concurso abierto durante la administración de Cesar Ramón López Jara, resultando ganador la propuesta de Sra. Ana Paula Aldrete Aguilar. De manera general se observa que la autora tomó como base el nombre antiguo de Jocotepec, Xolotepec, incluyendo en el emblema frutos agrios como la naranja, limón y guayaba. Relaciona el nombre de Xiolotepec (lugar de elotes tiernos) con elotes tiernos (con cabello y hojas verdes); también se observan símbolos relacionados con la religión a partir del

dibujo de una iglesia adornada con palmeras y montañas; se aprecia un círculo con textura de sarape que da un aspecto de escudo y vestimenta indígena debido a los acabados que se observan; se remata por las palabras *Progreso y Libertad*, en un contexto histórico alude a su designación como zona industrial, el cual se fortaleció por la llegada de empresas como Ultracril y Berrimex.

**Figura 5. 2.** Municipio de Jocotepec
(Fuente: L. A. Olvera-Vargas y D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

El municipio se fundó por grupos indígenas de Cutzulan o Cotzalan, actualmente San Juan Cosolá (significado entre las ollas) que fundaron otras poblaciones como Axixic, Tzapotlán y Tomatlán. Mucho antes de la conquista los pobladores eran nómadas, no usaban vestimentas y dadas sus condiciones y prácticas de vida también se les consideró como idólatras. Con la conquista, entre 1524, bajo el mando de Alonso Avalos, los naturales fueron bautizados y se les reconoció como fundadores de Xolotepec. Para 1824 la población se integró al departamento de Chapala y en 1835 se le menciona con la categoría de municipio: se desconoce el decreto por cual adquiere este título. "Cuenta con ayuntamiento en 1825; y por decreto del 13 de marzo de 1832, adquirió el título de villa. En 1846 Jocotepec es cabecera del Departamento de Chapala" (IIEG y Gobierno del Estado de Jalisco, 2019).

De 1846 a 1903, por el decreto 774, Jocotepec fue cabecera del 7º cantón, hasta que regresó a Chapala. Por ese mismo decreto, pero en 1903, se crea un nuevo departamento en el 7º cantón integrado por Jocotepec, Tuxcueca y Tizapán, siendo el centro administrativo Jocotepec.

*Tala*

El municipio de Tala se localiza a 20° 29' 00" de latitud Norte y a 103° 29' 30" de longitud Oeste. Tiene una altitud media de 1,320 metros sobre el nivel del mar y su superficie es de 630 km$^2$. Por su superficie se ubica en la posición 45 con relación al resto de los municipios del estado (ver Figura 5.3).

**Figura 5. 3.** Municipio de Tala
(Fuente: L. A. Olvera-Vargas y D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Los datos de la fundación del municipio datan del año 1126. Tlallan o Tala se traduce como "lugar terroso" o "tierra de labor". El escudo del municipio resultó de los trabajos de Javier Ignacio Calderón Soltero, Jorge Murillo Vidal, Jesús Navarro López y Héctor Enrique Zavala Casas, convocatoria del presidente municipal Javier Barragán en 1983. Adquiere la forma de un escudo francés cuartelado en cruz de oro y sinople. Contiene la imagen de un libro abierto que representa la educación y ciencia, valores espirituales que se anteponen a la filosofía del hombre; cruz franciscana en reconocimiento a Francisco de Asís (Santo Patrón de Tala); rodela y macana que aluden al poder y la unión del cacique fundador de Tala; surcos que simbolizan la tierra que se cultiva; el sol, que se retoma de los códices aztecas, como referencia al lugar de origen de los fundadores; listón con la leyenda *abundancia produjo la tierra, porque trabajó intrépida la gente* y; finalmente, se remata con un blasón con la leyenda de *Tlallan*, derivado del náhuatl "lugar de cultivo", "tierra de cultivo" o "tierra de labor" (Gobierno del Estado de Jalisco, s.f.-c; Inafed, s.f.-d).

Se dice que el nombre Tala es dado debido a una situación real que vivieron los pobladores a la llegada de los españoles. La población tenía un bosque que adoraban por lo que fueron obligados a talarlo, despectivamente comenzaron a llamar al pueblo Talatitlán. Cabe mencionar que los nativos respondieron con batallas a la llegada de los españoles. De esa manera su primer gobernante fue Francisco C. Nuño de Guzmán, el nativo más combativo. Le siguió Pedro Patiño y Diego de Colio, este último en 1759. Se puede decir que estos nombres fueron otorgados una vez bautizados.

Tala fue jurisdicción de la Nueva Galicia con categoría de corregimiento, reconocimiento que tuvo durante la época colonial. Desde 1825 ya contaba con Ayuntamiento asignado al primer Cantón de Guadalajara y al departamento de Zapopan. Para 1890 tenía en su jurisdicción a pueblos y haciendas: El Refugio, Cuisillos, Huastla, San Isidro, Ahuisculco, Santa Ana Tepetitlán y Navajas; anexados los municipios de Cuxpala y San Isidro en 1920. En 1980 es reconocido como ciudad "por haber alcanzado índices superiores de progreso en los aspectos político, económico, cultural, social,

demográfico; por sus obras de infraestructura y en mérito a la grandeza y dignidad de sus habitantes que se caracterizan por sus cualidades cívicas, morales e intelectuales" (Gobierno del Estado de Jalisco, s.f.-c, párr., 12).

### *Tlajomulco de Zúñiga*

Tlajomulco de Zúñiga es una ciudad de la Región Centro del estado de Jalisco, México. Forma parte de la zona metropolitana de Guadalajara y se encuentra al Suroeste de esta (ver Figura 5.4).

**Figura 5. 4.** Municipio de Tlajomulco de Zúñiga
(Fuente: L. A. Olvera-Vargas y D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Tlajomulco tiene dos interpretaciones, "lugar del montón de tierra" y "tierra en el rincón". Este significado proviene de los primeros pobladores que habitaron estas tierras, los cuales descendían de la raza nahua y quienes se autonombraron tlajomulcas. El escudo del municipio se creó en 1973, por Ceferino Salas Andrade. Los elementos que acompañan a la insignia son: cerros, armas, la chirimía (instrumento musical de viento), sucos y milpa, cántaro, campana, el zual (dulce prehispánico a base de amaranto) y el pozo del pueblo; los cuales en su conjunto hacen alusión a: un lugar escondido (entre cerros), reconocimiento al General Eugenio Zúñiga, la tradición Tlaxomulli, agricultura, alfarería, cofradía, cordialidad del pueblo y amistad (Inafed, s.f.; Gobierno del Estado de Jalisco, s.f).

Durante el año 1226, gobernado por el rey Tlajomulpilli, la población fue muy poderosa, gobernando a otros pueblos como Tala y Acatlán, quienes tenían que pagar tributo. En 1510, en la llamada Guerra del Salitre, cuando los purépechas tomaron Tonalá, Pitláloc, Copoya y Pilili, hijos del capitán Oxatac, fueron en ayuda del monarca de Tonalá, recibiendo como pago las tierras de Tlajomulco, donde asentaron su cacicazgo. También se les condona por diez años el pago de gabelas (tributo, impuesto) quedando sujetos al dominio de los tonaltecas. En 1530, cuando Nuño de Guzmán conquistó Tonalá, recorrió el cacicazgo de Tlajomulco reclutando a los nativos para fortalecer su ejercicio y continuar la lucha de conquista.

Para 1824 Tlajomulco era la cabecera de 26 departamentos en que se dividió el estado de Jalisco, este poderío derivó en su reconocimiento de Villa. A esta jurisdicción se integraban las haciendas Santa Cruz, San José, Mazatepec, Navajas y Cuzpala; también se integraban los pueblos Toluquilla, Santa María y San Sebastianito. Un año más tarde, en 1825, ya contaba con ayuntamiento; para 1846 fue cabecera del departamento de Tonalá; más tarde (1837) se constituye como cabecera de partido del distrito de Guadalajara. Otros datos señalan que por decreto pasó del 1o al 7o cantón de Chapala en diciembre de 1896, estableciéndose como cabecera de departamento hasta 1898. Finalmente, por decreto No. 456, se le denomina Tlajomulco de Zúñiga en reconocimiento al general Eugenio Zúñiga (IIEG y Gobierno del Estado de Jalisco, 2019; Inafed, s/f; Gobierno del Estado de Jalisco, s.f.).

*Villa Corona*

El municipio pertenece a la Región Lagunas se localiza en la región centro del estado de Jalisco, en las coordenadas 20° 14’ 30” y 20° 33’ 00” de latitud Norte y 103° 37’ 00” a los 103° 49’ 00” de longitud Oeste, a una elevación de 1,330 metros sobre el nivel del mar (ver Figura 5.5).

**Figura 5. 5.** Municipio de Villa Corona
(Fuente: L. A. Olvera-Vargas y D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

Villa Corona fue conocida antiguamente como *Tizapanito*, inicialmente *Tizapantzinco*, un diminutivo de indígena y de la palabra *Tizápan*. *Tizapanito* se asocia al significado de "lugar sobre la tizana", pero también "la palabra proviene de la unión de los vocablos náhuatl *tízal* (yaso o tiza) y *pan* (sobre); lo cual unido significa: "sobre la tierra blanca"" (IIEG y Gobierno del Estado de Jalisco, 2018, p. 4). El nombre actual lo obtuvo cuando logró la categoría de municipio, por la admiración que Manuel M. Diéguez tenía al general Ramón Corona.

Con datos históricos, aportados por el Gobierno Municipal de Villa Corona (s.f.), el escudo de armas se representa por los siguientes elementos:

> al centro, con letras espaciadas, el nombre del fundador "Xopillin", que quiere decir "peregrino". Destacan también siete arcos que dan origen a las siete cuevas que es lo que significa Chicomostoc, lugar de donde se dice provenía esta tribu nahuatlaca, y representan el portal de la plaza, además de la catedral de arena que tiene, apareciendo a tal propósito una cúpula y una cruz.

En la parte de abajo se observa la laguna en color azul cruzada por el color gris, que significa la calzada de piedra; los extremos de color rojo significan el sacrificio y el esfuerzo de nuestros antepasados para construirla y la V inicial del nombre del municipio. Tanto a la izquierda como a la derecha aparecen dos garzas en actitud graciosa apuntando hacia los dos balnearios más populares. En la parte de arriba aparece una corona complementando así el nombre del municipio. Enmarcadas, una lira de color oro con las palabras paz, hospitalidad y trabajo.

En sus inicios la población se constituyó por grupos migratorios. Se cuenta que en 1160 varias familias nahuatlacas partieron de Aztlán llegando al Valle de México, donde fundaron Tenochtitlán en 1325. Conformados en dos peregrinaciones un grupo pasó al Norte y el otro al Sur del estado de Jalisco, este último entró al estado por Tequila, avanzando por Ameca, Cocula, Villa Corona, Acatlán de Juárez, Zacoalco y entre otros municipios. En este proceso, aproximadamente en el año 1250, un grupo de peregrinos decidió quedarse en Villa Corona debido a las condiciones de caza y pesca, donde fueron aceptados debido a que la población de antaño los consideró como pacíficos, asentándose en un lugar conocido como la Huerta (Gobierno del Estado de Jalisco, s.f.-a).

En el siglo XVI, durante la Guerra del Salitre o de las Salinas, un grupo que huía del conflicto se asentó cerca la Huerta que ya habitan los nuahuatlaclas, gobernado por "Xopillin". Ambos grupos se fusionaron dando lugar al crecimiento cultural de la población y el territorio. La conquista de esta población se llevó a cabo en 1523 por el español Alonso de Avalos. En 1871 la comisaría de Tizapanito se separó de Ameca y se integró a Cocula; en el periodo presidencial de Venustiano Carranza, en 1917, se inauguró un tramo del ferrocarril en ese territorio. Un año más tarde, en el 1918, con Agapito Guayo, primer presidente municipal, adquiere la categoría de municipio (Inafed, s.f.-a).

## 5.2. Identificación geográfica y poblacional

El área bajo estudio está conformada por cinco municipios: Acatlán de Juárez, Jocotepec, Tala, Tlajomulco de Zúñiga y Villa Corona, en suma, se integran por 429 localidades y representan el 2.5% de la superficie estatal (ver Figura 5.6).

**Figura 5. 6.** Municipios que integran el área de estudio
(Fuente: L. A. Olvera-Vargas y D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

El municipio más pequeño es Acatlán de Juárez, este se ubica en la Región Lagunas, tiene una extensión territorial de 160.7 km$^2$ y se integra por 32 localidades (Tabla 5.1). Acatlán limita al Norte con el municipio de Tala; al Sur con Zacoalco de Torres; al oriente con Jocotepec y Tlajomulco de Zúñiga y al poniente con Villa Corona.

*Jocotepec* se ubica en la región Sureste del estado de Jalisco, colinda al Norte con el municipio de Tlajomulco de Zúñiga; al este con Ixtlahuacán de los Membrillos, Chapala y el lago del mismo nombre; al Sureste con Tuxcueca; al Sur con Teocuitatlán de Corona; al Oeste con Zacoalco de Torres y al Noroeste con Acatlán de Juárez. El municipio cuenta con 51 localidades y representa el 0.4% de la superficie estatal.

El municipio de *Tala* pertenece a la región Valles, localizado al centro poniente del estado de Jalisco, limitando al Norte con Zapopan, Amatitán y El Arenal, al Sur con Acatlán de Juárez, Villa Corona y San Martín Hidalgo, al oriente con Zapopan y Tlajomulco de Zúñiga y al poniente con Teuchitlán. Tala es el segundo municipio de mayor tamaño aledaño a la de Atotonilco con una superficie de 451.8 km$^2$ y 85 localidades.

*Tlajomulco de Zúñiga* está localizado en la región centro, limitando con los siguientes municipios: al Norte con los municipios de Zapopan y Tlaquepaque; al Sur con Jocotepec; al Este con El Salto, Juanacatlán e Ixtlahuacán de los Membrillos y al Oeste con Acatlán de Juárez y Tala. Es el municipio de mayor tamaño del área bajo estudio, con una superficie de 671.4 km$^2$, cuenta con 232 localidades, también es el municipio con mayor densidad de población con 1,083.9 habitantes por kilómetro cuadrado.

*Villa Corona* limita al Norte con el municipio de Tala y San Martín Hidalgo; al Sur con Atemajac de Brizuela y Zacoalco de Torres; al Oriente con Acatlán de Juárez y al Poniente con Cocula. Tiene una extensión territorial de 318.2 km$^2$ y posee la menor densidad de población con 59.9 habitantes por kilómetro cuadrado, pese a que su tamaño es similar al municipio de *Jocotepec*.

**Tabla 5. 1.** Superficie y densidad de población de los municipios de la colindantes a la Laguna de Atotonilco

| Municipio | Superficie ($km^2$) | Porcentaje de la superficie estatal | Densidad de población ($hab./km^2$) | Total de municipios o demarcaciones territoriales / localidades |
|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 160.7 | 0.2% | 157.2 | 32 |
| Jocotepec | 324.3 | 0.4% | 145.2 | 51 |
| Tala | 451.8 | 0.6% | 194.1 | 85 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 671.4 | 0.9% | 1,083.9 | 232 |
| Villa Corona | 318.2 | 0.4% | 59.9 | 29 |

**Fuente:** Elaborada con datos del Censo de Población y Vivienda 2020.

Respecto a la población total y su distribución por género en los municipios, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda (2020) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática se integra de la siguiente manera (Tabla 5.2):

El municipio de *Acatlán de Juárez* cuenta con una población total de 25,250 personas, el 52.5% son hombres y 47.5% son mujeres. La población más importante en la cabecera municipal, con más de 10,000 habitantes representa el 45% de la población, le sigue Bellavista y el Plan, con 30.8% y 11.5% de población respectivamente.

La población de *Jocotepec* asciende a 47, 105 personas de los cuales el 49.3% son hombres y el 50.7% mujeres, representa el 0.6% de la población total del estado (INEGI, 2015). El 76% de la población vive en zona urbana en comparación con la que vive en zonas rurales (IIEG, 2019).

La población de *Tala* la integran 87,690 personas; de los cuales el 49.6% son hombres y el 50.4% mujeres. La población de Tala representa el 1.1% de la población total del estado.

En *Tlajomulco de Zúñiga* la localidad de Hacienda Santa Fe es la localidad más poblada con 86,953 personas, que representa el 20.9 % de la pobla-

ción del municipio, seguida de San Agustín y Tlajomulco de Zúñiga con 7.3, San Sebastián el Grande con 6.8 y Santa Cruz del Valle con 6.4 % del total municipal. Este municipio tiene un total de población de 727,750 de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. El 49.5% son hombres y el 50.5% mujeres, con una mediana de edad de 25 años. El total de habitantes de este municipio representan el 8.7% del total estatal.

La población de *Villa Corona* asciende a 19,063 personas, el 49.8% son hombres y 50.2% mujeres. El total de su población representa el 0.2 % del total de la estatal. El municipio cuenta con más de 29 localidades. Villa Corona es la cabecera municipal y la localidad más poblada, le sigue Estipac, Atotonilco el Bajo y Juan Gil Preciado conocido como La Loma.

**Tabla 5. 2.** Población por género en los municipios de la Laguna de Atotonilco

| Municipio | Población total | Porcentaje de la población estatal | Porcentaje de hombres | Porcentaje de mujeres | Edad mediana |
|---|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 25, 250 | 0.3% | 52.5% | 47.5% | 26 |
| Jocotepec | 47, 105 | 0.6% | 49.3% | 50.7% | 26 |
| Tala | 87, 690 | 1.1% | 49.6% | 50.4% | 27 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 727, 750 | 8.7% | 49.5% | 50.5% | 26 |
| Villa Corona | 19,063 | 0.2% | 49.8% | 50.2% | 29 |

**Fuente:** Elaborada con datos del Censo de Población y Vivienda 2020.

Con relación al número de viviendas habitadas en cada uno de los municipios, por tener una mayor población *Tlajomulco de Zúñiga* también cuenta con un mayor número de viviendas y estas representan el 9.1% del total del estado (Tabla 5.3). En promedio las viviendas de los cinco municipios son habitadas por tres o cuatro personas, *Jocotepec* tiene el mayor promedio, lo que indica un mayor hacinamiento de sus habitantes. Así también, posee un mayor porcentaje de viviendas con piso de tierra.

**Tabla 5. 3.** Viviendas habitadas y ocupantes promedio en los municipios

| Municipio | Total de viviendas particulares habitadas | Porcentaje de las viviendas particulares habitadas estatales (%) | Promedio de ocupantes por vivienda | Viviendas con piso de tierra (%) |
|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 6, 372 | 0.3 | 3.7 | 0.6 |
| Jocotepec | 11, 057 | 0.5 | 4.2 | 2.4 |
| Tala | 24, 941 | 1.1 | 3.5 | 1.0 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 212, 301 | 9.1 | 3.4 | 0.7 |
| Villa Corona | 5, 086 | 0.2 | 3.7 | 1.5 |

**Fuente:** Elaborada con datos del Censo de Población y Vivienda 2020.

## 5.3. Factor social y económico

### *5.3.1. Pobreza*

La población en situación de pobreza multidimensional es aquella cuyos ingresos sean insuficientes para adquirir los bienes y los servicios que requiere para satisfacer sus necesidades- (DOF, 2018); esta se materializa en al menos uno de los siguientes seis indicadores: rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación nutritiva y de calidad.

En los cinco municipios de la laguna el nivel de pobreza es menor al 50%: *Jocotepec* tiene el mayor porcentaje de población en pobreza con el 44.0%, mientras que *Acatlán de Juárez* y *Tala* presentan el menor porcentaje con 28.3% (ver Figura 5.7). Un aspecto por destacar es que la población en pobreza extrema no sobrepasa el 6.0% en todos los casos. De hecho, en *Acatlán de Juárez, Tala* y *Tlajomulco de Zúñiga* la población no pobre y no vulnerable es mayor al 25%, es decir, aquella población cuyo ingreso es igual o superior a la línea de pobreza por ingresos y que no tiene carencias sociales.

**Figura 5. 7.** Pobreza multidimensional en los municipios de la laguna (Fuente: Elaboración propia)

La línea de pobreza por ingresos permite identificar a la población que no cuenta con los recursos suficientes para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias (DOF, 2018). En este caso, el municipio de *Villa Corona* presentó el 50.2% de su población en esta situación, seguido de *Jocotepec* con el 48.9% y *Tlajomulco de Zúñiga* con el 47.7%. Además, las carencias que mayormente presentan las poblaciones es el acceso a la seguridad social y servicios de salud (ver Figura 5.8).

**Figura 5. 8.** Tipos de carencias sociales y de ingreso en los municipios de la laguna (Fuente: Elaboración propia)

### *5.3.2. Cohesión Social*

La medición de la cohesión social incorpora indicadores que ayudan a conocer el nivel de desigualdad económica y social de la población a nivel municipal, así como indicadores de redes de apoyo e intercambio social a nivel estatal. Para medir el grado de cohesión social, el CONEVAL utiliza cuatro indicadores: coeficiente de Gini, razón de ingreso, grado de polarización social (Índice de marginación) e Índice de percepción de redes sociales, este último sólo se calcula a nivel estatal, por lo que sólo se presentan los siguientes tres indicadores.

El *Coeficiente de Gini* mide la desigualdad económica de una sociedad, mediante la medición del nivel de concentración que existe en la distribución de los ingresos entre la población, esta toma valores entre 0 y 1. Un valor

que tiende a 1 refleja mayor desigualdad en la distribución del ingreso. Por el contrario, si el valor tiende a 0, existen mayores condiciones de equidad en la distribución del ingreso. En los municipios de la Laguna de Atotonilco el valor tiende más al cero, por lo que se podría decir que la desigualdad económica es baja (Tabla 5.4).

El indicador razón de ingresos se construye dividiendo el ingreso corriente total per cápita de la población en pobreza extrema entre el ingreso corriente total per cápita de la población no pobre y no vulnerable. Permite conocer la brecha que existe entre los ingresos de las personas en pobreza extrema respecto al de las personas no pobres y no vulnerables. Al igual que el indicador anterior, los municipios de la laguna presentaron un nivel bajo, es decir, las poblaciones tienden a tener poca discrepancia en sus ingresos.

**Tabla 5. 4.** Coeficiente de Gini y razón de ingreso en los municipios de la laguna

| Municipio | Coeficiente de Gini | Razón de ingreso |
|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 0.31 | 0.17 |
| Jocotepec | 0.35 | 0.14 |
| Tala | 0.31 | 0.18 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 0.32 | 0.18 |
| Villa Corona | 0.31 | 0.19 |

**Fuente:** Elaborada con información del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2022).

## 5.4. Marginación

*Acatlán de Juárez* presenta un índice de marginación muy bajo, las carencias sociales se encuentran por arriba del promedio estatal (Tabla 5.5). En el municipio el 28.3% de las personas se encuentra en situación de pobreza; el 30.0%, por su parte, es vulnerable por carencias sociales; el 12.0% por ingresos y el 29.7% no es pobre y no se encuentra en situación de vulnerabilidad.

En *Jocotepec* el 44.0% de la población se encuentra en situación de pobreza, el 38.4% presenta carencias sociales, mientras el 4.9% es vulnerable en ingresos

y 12.8% no es pobre y no vulnerable. En carencia sociales, durante el 2015 el acceso a seguridad social fue el más alto con 34,469 personas (73.7%). Las poblaciones del municipio presentan un grado medio de marginación, mientras que la cabecera municipal presenta un grado de marginación bajo, también presenta bajos porcentajes de población analfabeta y sin primaria completa (IIEG, 2019).

*Tala* tiene un grado de marginación bajo, su población que vive en localidades de menos de 5,000 habitantes representa el 27.5 %. Su población económicamente activa ocupada con ingresos menores a dos salarios mínimos asciende a 63.2 % (IIEG, 2019).

El municipio de *Tlajomulco de Zúñiga*, la cabecera, Hacienda Santa Fe y San Agustín cuenta con un grado de marginación muy bajo. El municipio de Tlajomulco de Zúñiga ocupa el lugar nacional 2,413 en marginación, con el 30.9% de su población en pobreza moderada y 3.5% en pobreza extrema (IIEG, 2019). Un rasgo relevante refiere a que la mayoría de sus carencias están por debajo del promedio estatal.

*Villa Corona* tiene un índice de marginación que es considerado bajo, ocupa el lugar 2,035 a nivel nacional. La población en localidades de menos de 5,000 habitantes representa el 55.5 %. La población económicamente activa ocupada que no gana ni dos salarios mínimos asciende al 71.5% (IIEG, 2019).

**Tabla 5. 5. Grado de marginación en los municipios de la laguna**

| Nombre del municipio | % Población en localidades con menos de 5 000 habitantes | % Población ocupada con ingresos menores a 2 salarios mínimos | Índice de marginación, 2020 | Grado de marginación, 2020 | Lugar que ocupa en el contexto nacional |
|---|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 25.1 | 63.0 | 58.7 | Muy bajo | 2,286 |
| Jocotepec | 39.0 | 60.3 | 57.5 | Muy bajo | 2,044 |
| Tala | 27.5 | 63.2 | 58.6 | Muy bajo | 2,254 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 11.7 | 55.2 | 60.0 | Muy bajo | 2,413 |
| Villa Corona | 55.5 | 71.5 | 57.5 | Muy bajo | 2,035 |

**Fuente:** Elaborada con datos estimados de CONAPO con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020.

En general, en los cinco municipios es alto el porcentaje de viviendas particulares habitadas que cuentan con drenaje, servicio sanitario y energía eléctrica respecto al total de viviendas particulares habitadas. El servicio que menos tienen es agua entubada, siendo Jocotepec el municipio con un menor porcentaje de viviendas (88.7%) con este servicio (ver Figura 5.9).

**Figura 5. 9.** Servicios con los que cuentan las viviendas en los municipios de la laguna (Fuente: Elaboración propia)

### *5.4.1. Población económicamente activa*

En los cinco municipios poco más de la mitad de su población de 12 años o más se encuentra económicamente activa, el mayor porcentaje lo tiene Tlajomulco de Zúñiga con el 66.7%, en su mayoría son hombres (58.5%). Cabe señalar el alto porcentaje de la población ocupada en los municipios respecto al total de población económicamente activa ya que asciende a más del 98% (ver Tabla 5.6).

**Tabla 5. 6.** Población económicamente activa (PEA) en los municipios

| Municipio | Población de 12 años y más económicamente activa (PEA) | Hombres | Mujeres | PEA Ocupada |
|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 54.3% | 61.5% | 38.5% | 98.2% |
| Jocotepec | 65.7% | 59.2% | 40.8% | 99.3% |
| Tala | 64.2% | 60.3% | 39.7% | 98.9% |
| Tlajomulco de Zúñiga | 66.7% | 58.5% | 41.5% | 98.4% |
| Villa Corona | 55.4% | 64.3% | 35.7% | 98.2% |

**Fuente:** Elaborada con datos del Censo de Población y Vivienda 2020.

Respecto a las actividades que realiza la población de 12 años o más no económicamente activa (PNEA) en los municipios, en Acatlán de Juárez el mayor porcentaje de esta población son estudiantes con el 18.7%. En todos los demás municipios la actividad que predomina en esta población son quehaceres en el hogar, que generalmente es realizada por mujeres. En Acatlán de Juárez y Villa Corona llama la atención la cantidad de personas que son pensionadas o jubiladas, ya que representan el 4.9% y 4.8% de la PNEA (ver Figura 5.10).

**Figura 5. 10.** Actividades que realiza la población de 12 años y más no económicamente activa (PNEA) (Fuente: Elaboración propia)

## 5.5. Migración

El estado de Jalisco presenta una larga tradición migratoria hacia los Estados Unidos, tiene un grado alto de intensidad migratoria. Se remonta a finales del siglo XIX y se estima que alrededor de 1.4 millones de jaliscienses nacidos en el estado viven en el país vecino y cerca de 2.6 millones nacidos en aquel país son de los padres del mismo estado (IIEG, 2019).

El municipio de *Acatlán de Juárez* tiene un índice de intensidad migratoria medio y el 11.0 % de las viviendas del municipio recibieron remesas en 2020 (ver Tabla 5.7). El municipio de *Jocotepec* tiene una intensidad migratoria baja, a pesar de que el 9.4% de las viviendas del municipio recibieron remesas en 2020. De acuerdo con la Gaceta oficial del Gobierno Municipal de Jocotepec, Gómez (2018) refiere una dinámica de migración interna, a partir del establecimiento de la producción de Berrys se documentó un incremento de la migración interna proveniente de los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz.

Tala tiene un índice de intensidad migratoria medio, ocupa el lugar 649 a nivel nacional y en el 2020 el 10.5 % de las viviendas del municipio recibieron remesas. Tlajomulco de Zúñiga tiene un índice de intensidad migratoria muy bajo, ocupa el lugar 1,660 a nivel nacional. En el 2020 sólo el 4.2 % de las viviendas del municipio recibieron remesas. Villa Corona ocupa el lugar 210 en el contexto estatal según el índice de intensidad migratoria, en este municipio el 13.6% de las viviendas recibieron remesas en 2020.

**Tabla 5. 7.** Intensidad migratoria en los municipios de la Laguna de Atotonilco

| Municipio | Viviendas que reciben remesas 2020 (%) | Viviendas con emigrantes con destino a Estados Unidos residentes en Estados Unidos (%) | Viviendas con migrantes de retorno de Estados Unidos (%) | Grado del Índice de Intensidad Migratoria (DP2) | Posición del municipio a escala nacional |
|---|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 11.0 | 1.8 | 1.3 | Medio | 540 |
| Jocotepec | 9.4 | 2.0 | 1.5 | Bajo | 1,066 |
| Tala | 10.5 | 1.2 | 1.3 | Medio | 649 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 4.2 | 0.6 | 0.6 | Muy bajo | 1,660 |
| Villa Corona | 13.6 | 1.9 | 1.8 | Alto | 210 |

**Fuente:** Elaborada con información de la base de datos del índice de intensidad migratoria por municipio estimada por el Consejo Nacional de Población (2021)

### *5.5.1. Desarrollo socioeconómico y condiciones de vida*

Según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI (2015), *Acatlán de Juárez* cuenta con 1,149 unidades económicas dedicadas al comercio, aproximadamente 48.61% de empresas del municipio. En el sector empresarial el municipio es el número 49 a nivel estatal y 5 a nivel regional. Como se mencionó, el 48.61% se dedica al comercio, le sigue el sector servicios (39.72%), industrias manufactureras (7.32%), actividades legislativas (3.14%), agricultura (0.17%), transporte (0.26%), construcción (0.44%) y generación de electricidad y captación de agua (0.35) y generación de electricidad y captación de agua (0.35%) (IIEG, 2019.) Los sectores dominantes y más importantes en el 2014, por generación de valor agregado censal bruto fueron: industria alimentaria, fabricación de productos metálicos y comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales, los cuales generaron conjuntamente el 68.1% del valor agregado censal bruto (IIEG, 2018).

*Jocotepec* cuenta con 1,729 unidades económicas –datos finales del 2017-. Su principal actividad es el comercio -el 46.5% de empresas del municipio-, le sigue el sector servicio (45.2%), industria (8.0%) y agricultura (0.3%). Con datos del 2014, los subsectores económicos más relevantes, por el valor agregado censal bruto fueron: Instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil; comercio al por mayor (abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco) y comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes. Juntos generaron el 40% del valor agregado censal bruto en el año 2014 (Gómez, 2018).

Hasta el año 2019 *Tala* tenía registradas 3,253 unidades económicas, según estadísticas publicadas en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), de las cuales su principal actividad es el comercio (47.1%) y el sector de servicio (45.8%), la industria (7%) y finaliza con temas relacionados con la agricultura y otras (0.1%) (IIEG, 2021).

Los subsectores más relevantes en el sector de comercio son la venta de abarrotes, venta de ropa y papelerías. En el sector de servicios los restaurantes, cafeterías y consultorios médicos, lo referente a la industria los principales subsectores son: la transformación del nixtamal y fabricación de ladrillos. Por último, en agricultura y otras tienen que ver con subsectores como piscicultura y acuicultura.

Según información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI (2015), *Tlajomulco de Zúñiga* contó con 15,399 unidades económicas en 2019. Estas unidades están dedicadas con predominio al comercio, un total de 49.0%; los servicios ocupan el 40.8% y la industria manufacturera el 7.3%; transportes, construcción, medidos masivos, minería, agricultura y generación de electricidad y captación de agua es menor al 1% (IIEG, 2019). Los sectores que impulsan el valor agregado fueron la industria alimentaria, la industria química y la fabricación de equipos de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos. La industria química registró un mayor crecimiento entre 2009 y 2014 de alrededor de 85%. Respecto al empleo, según datos del IMSS el grupo económico que generó más empleos fue el de fabricación y ensamble de maquinaria, equipos, aparatos y accesorios y

artículos eléctricos y sus partes concentrando el 17.8% del total de asegurados en el municipio. El segundo grupo económico fueron los trabajadores de Elaboración de Alimentos, representando el 7.2% (Zamora, 2019).

*Villa Corona* cuenta con 809 unidades económicas, el sector más relevante es el comercio abarcando un 48.5%, la industria manufacturera el 11.1% y con menos de 1% la agricultura, medios masivos y la generación de electricidad. Este municipio ocupa la posición 64 del total de empresas establecidas en el estado. La división ocupaciones de la PEA refiere a comerciantes y trabajadores en servicios diverso 37.8%, trabajadores de la industria el 21.9%, trabajadores agropecuarios el 21.1% y profesionistas, técnicos y administrativos 17.4% (IIEG, 2019). Información del Plan Municipal de Desarrollo de Villa Corona (Rúelas, 2018) señala los principales problemas que afectan el desarrollo económico del municipio. Entre ellos se encuentran: el excesivo consumo de energía eléctrica, malas instalaciones y mal servicio en los comercios, la contaminación de la laguna, el ambulantaje, monocultivos referentes a la producción de caña y maíz, bajo enfoque de negocios e incremento del comercio informal.

En la Tabla 5.8 se muestra la información recolectada de la DENUE entre 2017 y 2019 para los cinco municipios que comparten la cuenca de la Laguna Atotonilco. La mayoría de las empresas corresponden a comercio y servicios; sin embargo, esto no representa la distribución del valor agregado censal bruto ni del empleo. Según la información recolectada por el Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG), las empresas de industria y agricultura suelen ser empresas grandes en comparación con las empresas de comercio y servicios.

**Tabla 5. 8.** Distribución de las unidades económicas por sector

| Municipio | Número de empresas | Servicios % | Comercio % | Industria % | Agricultura % |
|---|---|---|---|---|---|
| Jocotepec | 1,729 | 45.2 | 46.5 | 8.0 | 0.3 |
| Tala | 3,253 | 45.8 | 47.1 | 7 | 0.1 |
| Villa Corona | 932 | 42.3 | 47.9 | 9.5 | 0.3 |
| Acatlán de Juárez | 1,149 | 43.9 | 48.6 | 7.3 | 0.2 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 14,112 | 41.8 | 49.5 | 8.6 | 0.1 |

El *valor agregado censal bruto* (VACB) se refiere al valor de la producción que añade la actividad económica en su proceso productivo. Según los censos económicos del 2014, el VACB de cada municipio es el siguiente: Tlajomulco de Zúñiga 12,992 mdp, Tala 896 mdp, Acatlán de Juárez 439 mdp, Jocotepec 304 mdp y Villa Corona 114 mdp. La Tabla 5.9 presenta el porcentaje de participación en el VACB por actividad económica y por municipio.

El empleo se mide con el número de trabajadores asegurados ante el IMSS. En diciembre de 2017 el municipio de Jocotepec contaba con 6,076 trabajadores registrados; Tala, con 14,392 y Villa Corona, con 899. En diciembre de 2018 Acatlán de Juárez contaba con 5,415 empleados registrados y Tlajomulco de Zúñiga, con 84,131. La agricultura es el grupo económico que más empleos formales genera en Jocotepec, Tala y Acatlán de Juárez, representa el 74.3%, 62% y 38.7% del total de los trabajadores registrados ante el IMSS, respectivamente. En Villa Corona el 18.1% del total de los trabajadores registrados se dedican a la producción de alimentos procesados y en Tlajomulco de Zúñiga el 10.1% se dedica a la fabricación y ensamble de maquinaria, equipos y accesorios electrónicos. Estas actividades corresponden al grupo económico que más empleos formales genera para cada municipio.

**Tabla 5. 9.** Participación del valor agregado censal bruto (VACB) por actividad y por municipio

| Municipio Actividad económica | Jocotepec | Tala | Villa Corona | Acatlán de Juárez | Tlajomulco de Zúñiga |
|---|---|---|---|---|---|
| Instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil | 15% | 5.6% | 2.9% | N/A | N/A |
| Comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco | 14% | 5.7% | N/A | N/A | 5.5% |
| Comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes | 11% | N/A | 5.2% | 1.6% | 2.6% |
| Comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco | 9% | 6.9% | 11.1% | 4.5% | 3.6% |
| Servicios de alojamiento temporal | 9% | N/A | 8.0% | N/A | N/A |
| Servicios de preparación de alimentos y bebidas | 7% | 2.9% | 4.7% | 2.2% | 3.0% |
| Comercio al por mayor de materias primas agropecuarias y forestales, para la industria y materiales de desecho | 6% | N/A | N/A | 4.4% | 4.4% |
| Comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales | 6% | 3.3% | 1.8% | 6.7% | 5.1% |
| Industria alimentaria | 4% | 29.5% | 18.1% | 51.7% | 16.4% |
| Comercio al por menor de artículos para el cuidado de la salud | 3% | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Industria del papel | N/A | 12.0% | N/A | N/A | N/A |
| Fabricación de productos metálicos | N/A | 6.2% | N/A | 9.7% | 5.5% |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Industria de las bebidas y del tabaco | N/A | 5.4% | N/A | N/A | N/A |
| Servicios de reparación y mantenimiento | N/A | 2.8% | 3.5% | N/A | N/A |
| Comercio al por menor de enseres domésticos, computadoras, artículos para la decoración de interiores y artículos usados | N/A | 2.2% | N/A | 1.2% | N/A |
| Industria del plástico y del hule | N/A | N/A | 23.0% | N/A | N/A |
| Comercio al por menor de productos textiles, bisutería, accesorios de vestir y calzado | N/A | N/A | 1.7% | N/A | N/A |
| Servicios profesionales, científicos y técnicos | N/A | N/A | 1.7% | N/A | N/A |
| Industria fílmica y del video, e industria del sonido | N/A | N/A | N/A | 5.6% | N/A |
| Edificación | N/A | N/A | N/A | 1.6% | N/A |
| Servicios educativos | N/A | N/A | N/A | 1.2% | N/A |
| Industria química | N/A | N/A | N/A | N/A | 14.0% |
| Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos | N/A | N/A | N/A | N/A | 10.1% |
| Servicios de apoyo a los negocios | N/A | N/A | N/A | N/A | 3.3% |
| Otros | 15% | 17.5% | 18.3% | 9.7% | 26.5% |
| **Total** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** | **100%** |

N/A = No aplica

## 5.6. Actividad industrial

En *Acatlán de Juárez* la industria alimentaria generó $226.9 mdp de VACB en 2014, 131% más que en 2009. La fabricación de productos metálicos generó $42.8 mdp y la industria fílmica, del video y del sonido generó $24.5 mdp. En diciembre de 2018 la elaboración de alimentos empleó 855 trabajadores; la fabricación de productos metálicos, 404; la fabricación de productos de hule y plástico, 327; la industria metálica básica, 171; la industria de papel, 159 y la industria química, 128.

*Jocotepec* es un municipio mayormente agrícola y su principal industria es la alimentaria. Esta industria generó un valor agregado censal bruto (VACB) de 12.8 mdp en 2014 y tuvo un crecimiento del 38% con respecto al 2009. La industria de papel también tiene presencia en el municipio, ya que en diciembre del 2017 registró 70 trabajadores ante el IMSS, lo que representa el 1.2% del total de los trabajadores asegurados.

En *Tala* uno de los sectores más rentables hablando en términos de VACB es el sector industrial. La industria alimentaria generó 263.9 mdp de VACB en 2014; la industria de papel, 107.3 mdp; la fabricación de productos metálicos, 55.6 mdp y la industria de las bebidas y del tabaco, 48.5 mdp. Estas cuatro industrias representaron el 53.1% del total del VACB en 2014. En diciembre de 2017 la elaboración de alimentos registró 1,261 trabajadores, el ensamble de equipo de transporte y sus partes registró 455 y la industria de papel registró 200 trabajadores.

En *Tlajomulco de Zúñiga* la industria alimentaria generó $2,134.6 mdp de VACB en 2014, 65% más que en 2009. La industria química generó $1,823.3 mdp y la fabricación de productos metálicos, $711.2 mdp. En diciembre de 2018 la fabricación y ensamble de maquinaria registró 15,231 trabajadores ante el IMSS; el ensamble de equipo de transporte y sus partes, 5,048; la industria química, 4,912; la fabricación de productos metálicos, 3,574, y la fabricación de productos de hule y plástico, 2,743.

En *Villa Corona* la industria del plástico y del hule generó 26.3 mdp de VACB en 2014, siendo esta la más rentable, además de nueva, en el 2009

aún no se tenía registro de esta actividad. La industria alimentaria generó 20.6 mdp en 2014, 90.8% más que en 2009. La extracción y beneficio de carbón mineral grafito registró 162 trabajadores ante el IMSS, la elaboración de alimentos 109 y la fabricación de productos metálicos 57.

## 5.7. Sistemas de producción agropecuaria

*Acatlán de Juárez*

En el sector agropecuario la siembra de caña de azúcar es un motor importante de la economía en el municipio. La caña es materia prima que es procesada en ingenio Bellavista. A pesar de que el uso de suelo dominante en el municipio es la agricultura con un 70.3%, datos del IIEG reportan una reducción desde el 2016. Los principales cultivos además de la caña de azúcar son el maíz, el maguey y el nopal. Los cultivos cíclicos en el periodo otoño- invierno son garbanzo forrajero; el frijol, maíz forrajero y en grano, sorgo y tomate de cáscara, en el periodo de primavera-verano. Los cultivos perennes son la alfalfa verde y pasto forrajero. La producción ganadera incluye la cría de bovino, porcino, ovino, caprino y diversas aves; y en Acatlán de Juárez ha mantenido una tendencia creciente (ver Tabla 5.10).

**Tabla 5. 10.** Aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas dedicadas a la producción agrícola y pecuaria, Acatlán de Juárez, Jalisco

| Usos | Cantidad | Volumen $Mm^3$ | Volumen % |
|---|---|---|---|
| ***Aguas superficiales*** | | | |
| Agrícola | 2 | 0.11 | 16.30 |
| ***Aguas subterráneas*** | | | |
| Agrícola | 117 | 12.08 | 72.62 |
| Pecuario | 2 | 0.01 | 0.06 |

### *Jocotepec*

Dentro del sector primario la principal actividad es la agricultura. Destaca el cultivo del maíz, seguido de la siembra de pasto para el ganado y la producción – cultivo de hortalizas. Cabe señalar que del mismo modo han ido en ascenso los cultivos protegidos a partir de la siembra de fresa, zarzamora y frambuesa. "Esto ha crecido en grado tal que, en el 2010, el municipio de Jocotepec se colocó como uno de los principales productores en todo el Estado de Jalisco, como se puede constatar" (Municipio de Jocotepec, 2011).

Precisamente, en los últimos años se registra una rápida sustitución de cultivos tradicionales debido a la exportación, situación que ejerce presión por el cambio de uso de suelo sobre los alimentos tradicionales. Este cambio sucede en 1994 con el arribo de la empresa norteamericana BerryMex ("Reiter Affiliated Companies"), que impulsa el cultivo-producción de frutos rojos: arándanos, moras y frambuesas. También se observa los cultivos en invernaderos de jitomate.

Una de las consecuencias asociadas a los cultivos es el problema de la contaminación de suelos y agua por el uso excesivo de agroquímicos. El uso de herbicidas e insecticidas es prácticamente generalizado. La aplicación la realizan con la recomendación de las personas de las casas comerciales sin que existan elementos técnicos que soporten dichas recomendaciones. Es muy frecuente que se apliquen dosis por arriba de las recomendadas y que las aplicaciones se hagan sin protección alguna. El uso de agroquímicos responde a un modelo basado en una alta producción en la que no se respeta, entre otras cosas, la conservación del equilibrio ambiental (Municipios de Jocotepec, 2011).

Los habitantes de la comunidad consideran que las empresas transnacionales impulsaron la economía del lugar, pero también han sido los causantes de problemas ambientales y de algunas enfermedades. Una de las sustancias químicas al que se refieren en la población es el bromuro de metilo, el cual se utiliza para controlar plagas y enfermedades en algunos cultivos.

Otro problema es la sobreexplotación de los acuíferos tanto de las aguas superficiales y subterráneas. Conforme se van perforando pozos aumenta

la superficie en un promedio de 100 ha por año. El aumento de las tierras dedicadas a la agricultura protegida está disminuyendo las áreas de agostadero en los terrenos planos, las montañas se están afectando al contar con ganado en época de lluvias. Al haber mayor compactación del suelo está disminuyendo la recarga de los acuíferos y vegetación como el Bosque Mesófilo de Montaña, que también se ve perturbado (Municipios de Jocotepec, 2011).

### *Tala*

La principal actividad económica del municipio se da a partir de la agricultura, ganadería, comercio, industria azucarera, construcción y pequeños talleres. Parte importante de la población depende del sector agrícola y agropecuario, la caña es el principal producto de explotación en los ingenios de Tala, el Refugio y Bella Vista. La producción de caña se ha visto favorecida por el crecimiento de suelos agrícolas; así como por la cercanía que tienen con ríos y presas.

La producción agrícola se concentra en la venta de azúcar, maíz, agave, sorgo, cacahuate, pasto, garbanzo, limón, avena, camote y sandía. Sin embargo, también existen cultivos protegidos (invernaderos), berries y hortalizas, así como criaderos de peces, aves y otras actividades de alta especialidad (Franco, 2012). "Los ríos, arroyos y pozos profundos que Tala posee, le permitan eficientar la agricultura de riego, logrando con ello grandes rendimientos en la producción agrícola" (Ayuntamiento de Tala, s/f: 82).

### *Tlajomulco de Zúñiga*

La agricultura es un eje estratégico en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, es tan importante que no sólo se impulsa la producción, también el aprovechamiento de residuos bajo tratamientos específicos. Así, la agricultura "engloba los diferentes trabajos de tratamiento del suelo y de los cultivos vegetales, comprende un conjunto de acciones humanas que transforma el medio natural, con el fin de hacerlo más apto para el crecimiento de la siembra de alimentos vegetales como cereales, frutas, hortalizas, pastos

cultivados y forrajes, fibras utilizadas para la industria textil, cultivos de energéticos" (Sánchez, 2015). El municipio tiene una extensión aproximada de 636.93 $km^2$, a pesar del crecimiento urbano la mayor parte de la tierra se aprovecha para la producción agrícola, principalmente se producen hortalizas, maíz, garbanzo, sorgo y avena. Se comienza a observar el desarrollo de nuevos productos como berries, aguacate y agave.

"El valor de la producción agrícola en Tlajomulco de Zúñiga ha presentado diversas fluctuaciones, habiendo registrado su nivel más alto en 2018, pero en 2014 y 2015 presenta cambios a la baja" (IIEG, 2019, pág., 26). Si bien el número porcentual en el 2018 fue de 1.03%, significa, todavía, es inferior al presentado en el 2013 con 1.41%.

La producción ganadera ha tenido una producción creciente del 2013 al 2018, en este último representó el 1.1%. Por otra parte, el estiércol de ganados (ovino, caprino, bovino, equino, porcino y de aves), en combinación con bacterias y enzimas, convierte los residuos en composta, para después utilizarlos como fertilizantes en cultivos y plantas. Se puede decir existe una buena combinación de los desechos de los animales para su aprovechamiento como fertilizantes.

### *Villa Corona*

Según el reciente Registro Agrario Nacional, en el municipio Villa Corona existen cinco núcleos agrarios con una superficie total 13,394.066 hectáreas, de ella 5,139.737 hectáreas tienen uso comunal, 8,101.238 hectáreas corresponden a parcelas y 153.089 hectáreas asentamientos humanos. La tenencia de la tierra en el municipio está representada por la propiedad ejidal con 13,394.06 hectáreas; el resto -18.505.89 hectáreas de la superficie municipal- corresponde a mayoritariamente a propiedad privada y a propiedad pública, ya sea municipal, estatal y federal. La propiedad ejidal en el municipio está conformada por fracciones de los ejidos: "Villa Corona" "Buenavista","Estipac", "Atotonilco El Bajo".

De manera general el municipio tiene una extensión territorial de 36,446 hectáreas, de las cuales 14,836 son utilizadas con fines agrícolas; 14,885 en

actividades silvestres y pecuarias, 2,112 hectáreas son de uso forestal, 1,325 hectáreas corresponden a áreas inundables contiguas a la Laguna de Atotonilco, 2,464 hectáreas son las ocupadas por este mismo cuerpo de agua. En la Tabla 5.11 se especifica el uso de la extensión territorial para extracción de materiales de construcción, así como lo correspondiente al uso de suelo urbano, que incluye los usos turístico habitacional, comercial y de servicios.

**Tabla 5. 11.** Uso actual del suelo, Villa Corona, Jalisco

| Extensión territorial | Superficie ha |
|---|---|
| Fines agrícolas | 14,836 |
| Actividades silvestres y pecuarias | 14,885 |
| Uso forestal | 2,112 |
| Áreas inundables | 1,325 |
| Cuerpos de aguas | 2,646 |
| Extracción de materiales | 122 |
| Suelo urbano | 520 |
| **Total** | **36,446** |

**Fuente:** Elaboración propia, a partir del Plan de Desarrollo Región Lagunas

La principal actividad económica en el municipio es la agricultura, con una superficie utilizada en a este fin de 3,534 hectáreas, de las cuales el 83.8% es de riego; el 16.3 %, de temporal y el 0.13%, de pastizal cultivado. La ganadería es también una actividad económica importante en el municipio, aunque menos que la agricultura. La producción pecuaria se mantiene en muy pobres niveles de participación distrital y estatal.

A continuación, se presenta el tipo de vegetación, la superficie y el porcentaje que representa respecto al uso de suelo (ver Tabla. 5.12). Información de la Comisión Estatal del Agua (CEA) refiere que las concesiones para uso de extracción de agua superficial para la actividad agrícola ascienden a 17 con un volumen de extracción de 5`088.035, las concesiones para uso agrícola de agua subterránea son de 171 con un volumen de extracción de 15’536,811.

**Tabla 5. 12.** Uso de suelo en Villa Corona, Jalisco

| Uso de suelo | Superficie km$^2$ | % |
|---|---|---|
| Agricultura de Temporal | 160.23 | 44.76 |
| Agricultura de Riego | 25.29 | 7.06 |
| Bosque de encino | 32.39 | 9.05 |
| Especial (otros tipos) | 1.63 | 0.46 |
| Selva caducifolia | 38.56 | 23.34 |
| Vegetación hidrófila | 8.57 | 2.39 |
| Vegetación inducida | 4.89 | 1.36 |
| Pastizal cultivado | 0.19 | 0.05 |
| Cuerpo de agua | 36.94 | 10.32 |
| Zona urbana | 4.33 | 1.21 |

Se distingue el uso de suelo para la actividad agrícola, se practica principalmente la agricultura de temporal, pero un considerable porcentaje del área destinada a la agricultura cuenta con infraestructura de riego, que aprovecha el agua de la laguna y de los numerosos embales con que cuenta el municipio (H. Ayuntamiento de Villa Corona, 2016). Los cultivos que más se siembran son la caña de azúcar, el maíz y el garbanzo forrajero.

## 5.8. Actividades piscícolas

Destaca la actividad piscícola en Acatlán de Juárez debido a que la comunidad rural de San Pedro Valencia colinda con la Presa Hurtado, donde se extrae pescado para el sostenimiento familiar y también es considerada para riego de la unidad productiva bellavista. La presa Hurtado es un sitio tradicional que alberga visitantes los fines de semana para consumir bagres, tilapias y carpas. La producción piscícola es de índole local.

En el municipio de Jocotepec destaca la pesca y/o captura de charal, carpa, bagre y pescado blanco y en el municipio de Tala existen criaderos de peces, aunque no se cuenta con información sobre producción. En el municipio de Villa Corona la pesca y la acuicultura tienen una dinámica de crecimiento inferior a la del resto de las actividades primarias, su tendencia

histórica es decreciente, según el Informe de Evaluación Estatal. Programa de Acuacultura y Pesca (2006) entre 1993 a 2003 demuestra una disminución del 53%, igualmente el número de personas dedicadas a la pesca el descenso fue del 27.9%. Según el reporte de Ordenamiento Ecológico Territorial de Jalisco, en Villa Corona se encontraban censadas siete ensambles con una producción promedio mensual no significativa. La información sobre las actividades piscícolas es limitada. Se detectó que gran parte de la actividad pesquera en el municipio se lleva a cabo en las presas (Ciénega, Las Tuzas, El Tecuán, Montenegro, Presa Chica) y en la Laguna de Villa Corona con la captura de especies de carpa y mojarra.

Por otra parte, el gobierno municipal de Tlajomulco de Zúñiga ha impulsado la acuicultura, incentivando la siembra de alevines; es decir, la cría de pez en presas, bordos y estanques, con la finalidad de que sea de autoconsumo entre la población y que al mismo tiempo impulse la actividad económica de zonas rurales. Existen granjas acuícolas y se incentiva la producción en estanques.

## 5.9. Escolaridad

Con información del INEGI respecto a la clasificación de escolaridad para clasificar la organización del sistema escolarizado a partir de tres tipos según la ley General de Educación: básica, media superior y superior. La de tipo básico se conforma por tres niveles: preescolar, primaria y secundaria. El tipo medio superior comprende el nivel bachillerato general, bachillerato tecnológico y los estudios técnicos o comerciales con secundaria terminada. La educación de tipo superior se conforma por los niveles: técnicos o comerciales con preparatoria terminada, licenciatura y posgrado -especialidad, maestría y doctorado- (INEGI, 2020).

El sistema de educación, según la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece, en su artículo tercero, que la educación debe ser laica, gratuita y obligatoria para la población. Los municipios de interés brindan educación pública hasta el nivel medio superior, aunque también hay referencia de educación privada.

En el caso del municipio de Tlajomulco de Zúñiga, brinda educación a nivel superior de índole privado. En el municipio de Tala se ubica el Instituto Tecnológico que oferta educación a nivel superior. Acatlán de Juárez, Jocotepec y Villa Corona no cuentan con educación superior, ni a nivel público ni privado. En la Tabla 5.13 se muestra la proporción de población que no cuenta con educación básica y que es analfabeta

**Tabla 5. 13.** Porcentaje de la población sin educación básica y analfabeta

| Municipio | Población total | %Población de 15 años o más analfabeta | %Población de 15 años o más sin educación básica |
|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 25,250 | 3.0 | 31.8 |
| Jocotepec | 47,105 | 4.4 | 46.6 |
| Tala | 87,690 | 3.2 | 34.7 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 727,750 | 1.6 | 24.1 |
| Villa Corona | 19,063 | 5.0 | 42.6 |

**Fuente:** Elaborada con datos estimados de CONAPO con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020

Los indicadores que reflejan las condiciones de escolaridad y analfabetismo incluyen la identificación de población que no sabe leer – analfabeta-, sin escolaridad, que cuenta con educación básica: primaria; educación media superior: secundaria y preparatoria, educación superior: licenciatura o posgrado. En la siguiente tabla se pueden observar estos indicadores, así como también el grado promedio de escolaridad por condición de género por municipios según datos de INEGI (2020).

Se observa que Tlajomulco de Zúñiga presenta un promedio de 10.1 años de escolaridad, mayor al promedio estatal, y el municipio de Jocotepec presenta un promedio de 8.3 años, similar al de Villa Corona (ver Tabla 5.14).

**Tabla 5. 14.** Condiciones de escolaridad por municipio y grupos de edad

| Indicador | Acatlán de Juárez | Jocotepec | Tala | Tlajomulco de Zúñiga | Villa Corona |
|---|---|---|---|---|---|
| Población de 15 años y más analfabeta | 526 | 1,451 | 2,027 | 8,124 | 689 |
| Población de 15 años y más sin escolaridad | 523 | 1,595 | 2,504 | 11,480 | 668 |
| Población de 15 años y más con primaria incompleta | 1,591 | 4,601 | 6,317 | 26,292 | 2,011 |
| Población de 15 años y más con primaria completa | 2,801 | 7,723 | 10,665 | 64,557 | 2,652 |
| Población de 15 años y más con secundaria incompleta | 696 | 1,565 | 2,477 | 20,221 | 558 |
| Población de 15 años y más con secundaria completa | 5,348 | 7,847 | 18,612 | 149,810 | 3,547 |
| Población de 18 años y más con educación posbásica | 6,170 | 8,992 | 20,769 | 220,996 | 3,889 |
| Grado promedio de escolaridad | 9.2 | 8.3 | 8.9 | 10.1 | 8.3 |
| Grado promedio de escolaridad de la población femenina | 9.1 | 8.3 | 8.9 | 10.0 | 8.4 |
| Grado promedio de escolaridad de la población masculina | 9.3 | 8.2 | 9.0 | 10.2 | 8.3 |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información de INEGI, 2020

## 5.10. Población indígena

En los municipios aledaños a la laguna el porcentaje de población que habla lengua indígena es bajo en referencia a otros municipios de Jalisco. Acatlán de Juárez es el municipio con un mayor porcentaje de población de 3 años y más que declaró hablar lengua indígena (ver Tabla 5.15). Por otro lado, la población que por sus antepasados y de acuerdo con sus costumbres y tradiciones se considera afromexicana negra o afrodescendiente representa poco más del 2.0% en tres de los municipios respecto al total de su población.

**Tabla 5. 15.** Población que habla lengua indígena en los municipios de la laguna

| Municipio | Población total (3 años y más) | Población que se considera indígena (%) | Población que habla lengua indígena (%)* | Población que se considera afroamericana negra o afrodescendiente (%) |
|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 22,475 | 10.3 | 2.7 | 0.9 |
| Jocotepec | 44,080 | 22.4 | 0.7 | 2.8 |
| Tala | 83, 444 | 18.1 | 1.3 | 2.2 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 690,608 | 7.2 | 0.6 | 2.6 |
| Villa Corona | 17,741 | 5.2 | 1.5 | 0.4 |

*Respecto al total de población del mismo rango de edad en el municipio.

La lengua indígena predominante en los municipios de la Laguna es el náhuatl, con un mayor porcentaje de hablantes respecto al total de población de 3 años o más que habla lengua indígena (ver Figura 5.11).

**Figura 5. 11.** Lenguas indígenas más frecuentes en los municipios
(Fuente: Elaboración propia)

## 5.11. Personas con discapacidad

En los municipios de la Laguna un alto porcentaje de la población se encuentran con alguna discapacidad, limitación, problema o condición mental, este es mayor al 10% del total de la población que vive en cada municipio (ver Tabla 5.16). Entre las discapacidades y limitaciones que podrían tener la personas son: no poder caminar, subir o bajar, no ver aun usando lentes, hablar o comunicarse, no oír aun usando aparato auditivo, no poder vestirse, bañarse o comer, recordar o concentrarse. En *Villa Corona* alrededor de una quinta parte de su población presenta alguna condición de este tipo.

**Tabla 5. 16.** Personas con discapacidad, limitación, problema o condición mental en los municipios de la laguna

| Municipio | Población total | Población con discapacidad | Población con limitación | Población con algún problema o condición mental | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Acatlán de Juárez | 25,250 | 4.4 | 9.3 | 1.2 | 14.8 |
| Jocotepec | 47,105 | 4.8 | 9.6 | 1.2 | 15.6 |
| Tala | 87,690 | 5.0 | 11.5 | 1.2 | 17.7 |
| Tlajomulco de Zúñiga | 727,750 | 3.5 | 9.3 | 1.3 | 14.0 |
| Villa Corona | 19,063 | 5.7 | 13.1 | 1.0 | 19.8 |

**Fuente:** Elaborada con información del Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG, 2022).

La discapacidad, limitación, problema o condición mental entre la población de los municipios de la Laguna se debe principalmente por alguna enfermedad, de hecho, en Acatlán de Juárez y Villa Corona esta causa representa el 30.3% y 9.8%, respectivamente (ver Figura 5.12.).

**Figura 5. 12.** Causa de la discapacidad, limitación, problema, o condición mental en los municipios de la laguna
(Fuente: Elaboración propia)

## 5.12. Infraestructura y equipamiento

*Acatlán de Juárez*

Según datos del Gobierno Municipal (2018), el municipio de Acatlán de Juárez se encuentra comunicado por la carretera Guadalajara – Barra de Navidad y Guadalajara – Manzanillo con una distancia de la cabecera municipal a Guadalajara de 45.7 km. Cuenta con caminos revestidos en las localidades, así como vías férreas con cuatro estaciones; además de la autopista, tiene servicio de transportación foránea. El transporte urbano y rural se efectúa en vehículos de alquiler y particulares. Ocupa el segundo lugar de la región lagunas, registrando un grado muy alto de conectividad en caminos y carreteras, con un 55.97 km de infraestructura carretera y 57.34 km de caminos. Se encuentra dotado de los siguientes servicios educativos: una preparatoria y un CONALEP, 4 secundarias, 11 primarias y 12 preescolares distribuidos en las diferentes localidades del municipio. Aunque hay suficiente cobertura en el nivel de educación básica, el problema recurrente es la falta de profesores, por lo que los grupos se quedan sin profesor de manera frecuente.

*Jocotepec*

El municipio cuenta con infraestructura hotelera con capacidad de recibir 950 personas por semana, contribuye a consolidar el turismo gastronómico de la región. La infraestructura carretera está constituida por 70.7 % de carreteras y el 45.7% de caminos. Según la Gaceta oficial del Gobierno Municipal de Jocotepec (Gómez, 2018), aproximadamente el 89% de la población cuenta con los servicios de agua potable y energía eléctrica y en menor proporción con drenaje. Respecto a las carencias en la vivienda, la localidad de San Cristóbal Zapotitlán presentó las proporciones más altas de viviendas sin excusado (2.2%) y con piso de tierra (6.3%); también un mayor porcentaje de viviendas sin refrigerador (15.3 %). En Zapotitlán de Hidalgo el 12.5 % no disponen de agua entubada. Chantepec -conocido como El Chante- el 1.4% no cuenta con electricidad en las viviendas (IIEG, 2019).

### *Tala*

Tala, Jalisco, se encuentra a 50 km de Guadalajara por la carretera MEX 15. El municipio es el sexto lugar de la región Valles referente a conectividad (carreteras 62.7 km y caminos 336.32). En el municipio hay tres cementerios, tres mercados, nueve centros de salud y 127 escuelas de diferentes niveles y 115 planteles, general (69.3%), seguido de bachillerato general (8.7%), formación para el trabajo (5.5%), técnica (4.7%), comunitario (2.4%), telesecundaria (2.4%), tecnológico (2.4%), centros de atención múltiple (2.4%) y por último licenciatura y posgrado (2.4%).

### *Tlajomulco de Zúñiga*

Se considera a este municipio como el segundo lugar de la región Centro, con un muy alto grado de conectividad en caminos y carreteras. La infraestructura de carreteras es de 194.1 km y de caminos de 225.7 km. Los servicios con los que cuentan son 10 cementerios, 161 escuelas, 13 palacios o ayudantías municipales, 4 mercados, 149 plazas, 17 centros de salud, 21 tanques de agua y 53 templos[1]. El total de viviendas particulares habitadas 105,954. El promedio de ocupantes por vivienda es de 4%. Más del 93% de la población cuenta con electricidad (99.6%), servicios sanitarios (99.2%), drenaje (98.9%) y agua entubada (93.8%). El 2.4% aún cuenta con viviendas con piso de tierra. Respecto a tecnologías de información y comunicación, 43% cuenta con teléfono, 85.8% con teléfono celular, 32.4% con computadora y solo el 21.5% con internet (Zamora, 2019).

### *Villa Corona*

El municipio cuenta con servicios básicos, entre ellos: instancias de gobierno estatal y municipal, 40 escuelas; 9 preescolares, 17 primarias, 8 secundarias, 3 bachilleratos y una universidad, hoteles, centros recreativos, dos mercados, unidades deportivas, tiene cobertura de servicios de salud: siete unidades médicas de consulta externa y un hospital general. Cuenta con

[1] Información reportada en localidades de más de 2,500 habitantes.

oferta de servicios financieros, profesionales, técnicos, sociales, turísticos y de esparcimiento. La infraestructura de comunicación está consolidada en grado medio mediante una red de carreteras rurales que comunican las localidades además de estar conectada por la autopista Guadalajara-Barra de Navidad. Se cuenta con servicios de correo, fax, teléfono, radio, televisión y servicio de internet de cobertura amplia. El 98% de las viviendas tienen servicios de electricidad, el 94% con servicio de drenaje y agua potable, las construcciones son de ladrillo y tabique (Rúelas, 2018).

## 5.13. Servicios de salud

En la Tabla 5.17 se presenta el total de la población según la condición de afiliación a servicios de salud correspondiente a los municipios de Acatlán de Juárez, Jocotepec, Tala, Tlajomulco de Zúñiga, Villa Corona, según información de derechohabientes afiliados a las instituciones del Sistema Nacional de Salud y la población usuaria a los servicios médicos según la institución (INEGI, 2020). La cobertura y calidad en la atención en salud se encuentra limitada tanto en la infraestructura como en los servicios que otorga.

**Tabla 5. 17.** Población según condición de afiliación a servicios de salud por entidad federativa y municipio, 2020

| Indicador | Acatlán de Juárez | Jocotepec | Tala | Tlajomulco de Zúñiga | Villa Corona |
|---|---|---|---|---|---|
| Población sin afiliación a servicios de salud | 633 | 19,215 | 21,232 | 210,332 | 4,695 |
| Población afiliada a servicios de salud | 18,900 | 27,842 | 66,378 | 516,501 | 14,359 |
| Afiliada al IMSS | 15,331 | 13,547 | 58,859 | 443,924 | 8,477 |
| Afiliada al ISSSTE | 691 | 1,043 | 1,484 | 11,384 | 294 |
| Afiliada al ISSSTE estatal | 15 | 74 | 63 | 500 | 46 |
| Afiliada a PEMEX, Defensa o Marina | 28 | 30 | 124 | 1,345 | 4 |
| Afiliada al Instituto de Salud para el Bienestar | 2,825 | 12,349 | 5,931 | 40,804 | 5,243 |
| Afiliada al IMSS BIENESTAR | 27 | 403 | 62 | 1,067 | 10 |
| Afiliada a una institución privada | 137 | 494 | 272 | 22,756 | 195 |
| Afiliada a otra institución | 43 | 152 | 208 | 4,047 | 204 |
| **Total de población** | **25,250** | **47,105** | **87,690** | **727,750** | **19,063** |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Principales resultados por localidad (ITER) 2020.

Se puede observar que una proporción mayor al 50% aún no cuenta con ningún tipo de afiliación a los servicios de salud. En su gran mayoría la población sigue afiliada a los servicios de salud en el IMSS, particularmente en aquellos municipios con mayor densidad poblacional. Se observa un incremento en la población afiliada al Instituto de Salud para el bienestar.

## 5.14. Patrimonio cultural

### *Acatlán de Juárez*

Algunos de los edificios, espacios, actividades y valores culturales del municipio son los siguientes (Gobierno del estado de Jalisco, s.f.-b).

1. Parroquia de Santa Ana, data de 1850.
2. Mesón de la providencia.
3. Museo de artes y oficios "Benito Juárez".
4. Artesanías a base de hojas de maíz, olote, tule y varas de jala con anilina.
5. Fiesta en honor de Santa Ana.
6. Hogueras en la calle el día 11 de diciembre.

### *Jocotepec*

El patrimonio cultural en el municipio se comprende como infraestructura, símbolo e identidad que dan sentido de pertenencia y arraigo a la población que habita el territorio. "Los distintos tipos de patrimonio surgen a partir de aquello con lo que la población local se identifica mediante su significado cultural, moral, religioso, o sentimental, sea de objetos, lugares, o manifestaciones, al ser los pobladores quienes los conocen, los valoran y conservan." (Flores, 2019).

Algunas de sus manifestaciones culturales son las siguientes (Gobierno del estado de Jalisco, s.f.-d):

1. El Templo del Señor del Monte, data del siglo XIX.
2. La parroquia de Zapotitán de Hidalgo, data del siglo XVIII.
3. Caso de hacienda de Huejotitán, data del siglo XIX.
4. Pinturas: mapa de muro de una hacienda, data del siglo XIX.
5. Leyenda del Señor del Monte, data de 1718.
6. Artesanías: tejidos de algodón o lana; figuras de madera; tallado en cantera; artículos de palma, talabartería, entre otros.
7. Fiesta del Señor del Monte.
8. Fiesta del Señor del Huaje
9. 12 de diciembre.
10. Sitios y lugares naturales.

*Tala*

Algunos espacios y actividades con valor cultural en el municipio de Tala se enlistan a continuación (Gobierno del Estado de Jalisco, s.f.-c):

1. Templo de San Francisco de Asís.
2. La Capilla del Rosario, data del siglo XIX.
3. La ex Hacienda, data del siglo XIX.
4. Hacienda del Refugio de Orendaín, data de finales del siglo XIX.
5. Valle de Tala (Guachimontón).
6. Leyenda de hombres y mujeres gigantes.
7. Dulces de leche en azúcar y frutas en almíbar.
8. Fiesta de San Francisco de Asís.

*Tlajomulco de Zúñiga*

Aproximadamente son 27 conjuntos de bienes, riquezas naturales o ambientales que la sociedad de antaño heredó al municipio y que adquieren la categoría de patrimonio cultural registrándose en el Inventario Estatal del Patrimonio Cultural del estado de Jalisco. Considerando como Patrimonio

Cultural espacios o lugares, tradiciones y celebraciones que dotan al municipio de historia, identidad, tradición, religiosidad, cultura, entre otras características. Algunos de estos patrimonios son los siguientes (Urzúa, 2020):

1. Templo del Hospital o Capilla del Hospital.
2. Parroquia de los Reyes Magos.
3. Fiesta a la Purísima Concepción de María.
4. Festejo de los Reyes Magos, Cajititlán.
5. Festejo de los monos de copal, San Lucas Evangelista.
6. Tradición del Charco Bendito, San Lucas Evangelista.
7. Jueves Santo, San Lucas Evangelista.
8. Carnaval de San Miguel Cuyutlán.
9. Danza de los Xacates.
10. Cofradía del Templo del Hospital, cabecera municipal.
11. Peregrinación de La Calma por la Cofradía.
12. Ritual de boda en el pueblo de Tlajomulco.
13. Día de los pescadores, Cuexcomatitlán.
14. Juegos pirotécnicos, San Lucas Evangelista.
15. Pan pinto o tachihual.
16. Receta de Zuales.
17. Artesanía de tule, Cuexcomatitlán.
18. Artesanías a base de crin de caballo, Cajititlán.
19. Alfarería.
20. Técnicas de tallado de basalto.
21. Elaboración de sogas de ixtle para lazar.
22. Bustos a base de bronce vaciado del general Eugenio Zúñiga, Emiliano Zapata y Benito Juárez;
23. Escultura de una silla antropomorfa.
24. Mural con la historia y mitología de Tlajomulco.
25. Inmuebles de valor artístico en Ocampo 78 Sur y Primero de mayo 4 Oriente.

Además, se sumaron recientemente los espacios Cerro Viejo y Bosque La Primavera, considerando la historia y antigüedad de las áreas geográficas.

*Villa Corona*

El patrimonio cultural se observa en las manifestaciones culturales, artísticas y representaciones que por su "bien" son de interés municipal y del estado. De manera general se señalan las siguientes (Gobierno del Estado de Jalisco, s.f.-a):

1. El Templo de la Virgen del Rosario, de origen franciscano y data de 1624.
2. El Templo de la Virgen de Lourdes, proviene del trabajo de la familia Jesús Navarro desde 1939.
3. Templo de la Purísima.
4. Templo franciscano de Atotonilco el Bajo.
5. Casco de la Hacienda de Estipac.
6. Altar de madera del Templo Cristo Rey, data del siglo XVIII.
7. Estatua de Santo Domingo.
8. Estatua de San Francisco de Asís.
9. Estatua de Cristo, Siglo XVIII.
10. Pinturas: Virgen de Guadalupe, San Juan Bautista, Jesucristo, señor del Tiempo y la Eternidad; retrato del Fraile Marcos Huelvas (1961) y Mural con temas indígenas.
11. Leyenda de Don Santiago y Leyenda de El Calpache.
12. Artesanías: petates, sopladores y sillas de madera.
13. Gastronomía: caldo michi, platillos de origen indígena, dulces de coclixte en almíbar, pinole y ponteduro, entre otros.
14. Fiesta de la Virgen del Rosario.
15. Feria de la amistad.
16. Fiesta de Cristo Rey.
17. Otros.

## 5.15. Turismo y recreación

*Acatlán de Juárez*

El turismo está conformado por diversas actividades que le otorgan ciertas potencialidades de desarrollo económico al municipio. Entre ellas balnearios, servicio de hospedaje, una variada gastronomía para degustar como la birria de chivo, carnitas de ternera, frijoles puercos y tacos de canasta. Se hace referencia a El Camino Real a Colima como otra atracción turística para el deporte de montaña a través de cuatrimoto, bicicletas por veredas a la comunidad de los Pozos. Las Presa Hurtado es otro lugar de esparcimiento donde se puede degustar la gastronomía basada en pescado dorado y caldo michi. Las festividades del pueblo del 18 al 26 de julio en la cabecera municipal se celebran con música, cohetes, venta de pan tradicional siendo otro motivo de esparcimiento en el municipio. Otros espacios de recreación son El Cerro de la Coronilla, lugar emblemático por su historia y el parque la Pilitas de Bellavista. El andador del río Acatlán es otro lugar de esparcimiento y recreación para los pobladores.

*Jocotepec*

Jocotepec es uno de los municipios que integran la ribera de Chapala, por tal razón existen inversiones estatales que buscan mejorar la actividad urbana, crear nuevas estructuras como malecones (Jocotepec, San Juan Cosalá y San Cristóbal), así mejorar la infraestructura carretera. Se menciona la presencia de algunos balnearios en San Juan Cósala, el Chante y el Zapote, una hacienda y vestigios arqueológicos en la localidad de San Martín y la localidad de Potrerillos, respectivamente. Algunos visitantes aprovechan la laguna para pasear o pescar en lancha.

*Tala*

Tala cuenta con cascadas naturales, aguas termales, temazcales y *spa*[2]. También hay varias presas como la Valencia y la Vega, donde se disfruta de la

[2] Lugar donde se ofrecen terapias, tratamientos y actividades relajantes.

pesca y de una gastronomía particular. Una de las fiestas principales es la Feria Nacional de la Caña, también fiestas religiosas como la de San Francisco de Asís y Nuestra señora del Refugio.

*Tlajomulco de Zúñiga*

En este contexto el aporte es amplio. En Tlajomulco se encuentra la Laguna de Cajititlán, donde los turistas pasean en lanchas. También se encuentra la Iglesia de San Agustín, la cual se construyó por manos de la población indígena en el siglo XVII. Se encuentra la población de San Juan Bautista, lugar donde los artesanos trabajan la técnica de barro bruñido, la cual es una técnica representativa del municipio. LabASE, es el Laboratorio de Arquitectura Social Estratégica, este espacio funciona para diversas actividades: talleres, actividades creativas y recreativas. En las unidades deportivas del municipio se ofrecen clases de fútbol, basquetbol, natación y otros.

*Villa Corona*

Las principales actividades de recreación en el municipio se enmarcan en el rubro del deporte, se cuentan con canchas de fútbol y plaza de toros; sin embargo, las instalaciones se encuentran en un estado deficiente. Los espacios abiertos, jardines para la recreación y esparcimiento están considerados en las plazas cívicas, Atotonilco el bajo cuenta con dos plazas. Se carece de jardines vecinales y espacios de juegos infantiles. El municipio cuenta con balnearios de aguas termales, entre los más importantes se ubican Chimulco, Agua Caliente, las Termas, El Tular y las Delicias, estos se localizan en la periferia del municipio de Villa Corona. En Atotonilco El Bajo se ubican los balnearios Playa Sol y Montebello. La actividad turística se ha incrementado alrededor de esta actividad relacionada con los cuerpos de agua. Villa Corona es conocida turísticamente como "Tierra de aguas termales y cuna de las bandas".

## 5.16. Arqueología

### *Acatlán de Juárez*

*Cerro de la coronilla.* Se llevó a cabo el derrocamiento de la tropa francesa que invadía el territorio. Se dice que el municipio es un pueblo antiguo, data del tiempo de la Nueva España. Cuenta entre sus atractivos con las tumbas de tiro, las cuales han sido herencia de los indios Cocas, quienes iniciaron con el crecimiento de la población. Después de este periodo se encuentran varias haciendas que tuvieron como actividad económica la caña, también conocidas como trapiches. De esta otra época se encuentran algunos cascos como el de la hacienda el Plan, que fue cuartel en la batalla de la Coronilla donde se encuentran como protagonistas Eulogio Parra y Ramón Corona. También se puede mencionar los Arcos de Bellavista y el acueducto del agua zarca, que tuvieron como objetivo primordial canalizar el agua para llevarla a las haciendas cañeras o trapicheras.

### *Jocotepec*

Zona Arqueológica ubicada en el Fraccionamiento Senderos del Lago. Allí se ha encontrado un centro ceremonial con estructuras que datan del periodo Posclásico, entre 900 y 1200 después de nuestra era. Se han encontrado objetos de tumba de tiro del periodo Epiclásico y Posclásico; sin embargo, inconscientemente comenzaron a construir sobre una pirámide semienterrada.

### *Tala*

El municipio es por sí mismo un sitio arqueológico. Data de hace más de 2000 años. Cuenta una gran historia, la cual resurge con objetos que se encuentran en excavaciones. Para mostrar y preservar esa historia surge el Museo Arqueológico de Tlallán, allí se exhiben al menos 350 piezas, también hay una representación de una tumba de pozo que se remonta a 1000 años antes de Cristo. Una de las salas muestra la tradición Teuchitlán a través de mapas y diversos objetos de aquel tiempo; otra sala exhibe figuras zoomorfas, antropomorfas y objetos que simbolizan la tradición de la tumba de tiros.

### *Tlajomulco de Zúñiga*

El municipio cuenta con 19 sitios arqueológicos reconocidos por el Instituto Nacional de Antropología e Historia. Cabe resaltar que estos sitios son invisibilizados por la falta de interés de la propia población. Esta es una herencia de los indios Cocas que datan entre 400 y 900 años después de Cristo. Algunos de esos lugares son los siguientes: La loma, La piedrera, Lomas de Santa Anita, El Saucillo, Mochitlanejo, Las Torres, El Ventarrón, Las Jícamas, Los Coyotes, Cerro Viejo, Tacomula, Mezcalera, Tecpan de Cajititlán, El Mirador, Cuexcomatitlán, C. Del Sapo, El Picacho, Piedra la Rosetta y el Palomar.

### *Villa Corona*

En este municipio se encuentra el único templo de arena del mundo. Se le conoce como templo de la Virgen de Lourdes, al parecer ha sido fruto de un proyecto familiar que inició en el año de 1939. Esta construcción duró aproximadamente 50 años.

# Capítulo 6

## Gestión del agua en la cuenca

José de Anda Sánchez[1]
Demetrio Meza Rodriguez[2]
Marycarmen Verduzco Garibay[3]
Diego Díaz Vázquez[3]
Alberto Fernández del Castillo Barrón[3]
Osiris Díaz Torres[4]
Ofelia Yadira Lugo Melchor[4]
Morelia C. Garibay Martínez[5]
José Luis Zavala Aguirre[5]

[1] Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.
[2] Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.
[3] Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Guadalajara.
[4] Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.
[5] Departamento de Biotecnológicas y Ambientales. Universidad Autónoma de Guadalajara.

## 6.1. Introducción

En México el sector que más agua consume es el agrícola con 76.0%; le siguen el abastecimiento público con 14.4% y el sector industrial con 9.6%. El crecimiento poblacional ha dado como resultado una creciente demanda de bienes y servicios; especialmente de agua, cuya demanda en el año 2017 alcanzó 87.84 miles de $hm^3$, posicionando a México en el séptimo lugar entre los países con mayores volúmenes de extracción de agua (CONAGUA, 2018). De esta cantidad, 60.9% es agua superficial concesionada y 39.1% es de agua subterránea. La cantidad y calidad del agua está disminuyendo en muchas regiones de México debido a que los ecosistemas y el ciclo del agua están siendo profundamente afectados por diversos procesos. De acuerdo con el informe de la CONAGUA, en el año 2017 de los 5,068 sitios monitoreados de aguas superficiales referidos al parámetro de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el 31.7% muestran un alto grado de contaminación, un 24.8% tiene calidad aceptable y 43.5% tienen de buena a excelente calidad (CONAGUA, 2018). En cuanto a aguas subterráneas, de los 653 acuíferos identificados, sólo 32 tenían algún grado de sobreexplotación en 1970; en la actualidad ya son 105 los acuíferos sobreexplotados (CONAGUA, 2018). Por otra parte, la reutilización directa de las aguas residuales tratadas antes de su descarga se estimaba en el año 2017 en apenas 29.4% (CONAGUA, 2018). La disponibilidad natural media per cápita de agua se ha reducido drásticamente, pasando de 18,000 $m^3$/habitante/año en 1950 a sólo 3,656 $m^3$/habitante/año en el 2017 (CONAGUA, 2018). Esta situación se ve agravada por la mala distribución de la población y por la contaminación de los cuerpos de agua, lo cual disminuye la disponibilidad del recurso.

## 6.2. Marco institucional del agua

De conformidad con el carácter público del recurso hídrico, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales se realiza mediante concesión o asignación otorgada por el Ejecutivo Federal a través de la CONAGUA. La Ley de Aguas Nacionales establece que para otorgar los títulos de concesión o asignación se tomará en cuenta la disponibilidad media anual de agua de la cuenca hidrológica o acuífero en el que se vaya a realizar el aprovechamiento. La CONAGUA tiene la obligación de publicar dichas disponibilidades, para lo cual generó la norma NOM-011-CNA-2000 "Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales".

## 6.3. Usos del suelo y vegetación en la cuenca

La Laguna de Atotonilco se encuentra dentro de la Región Hidrológica Administrativa Lerma-Chapala-Santiago (RH-12) y en particular dentro de la cuenca Lago de Chapala (RH-12D) (INEGI, 2001). Esta cuenca es predominantemente agrícola tal como se ilustra en la Figura 6.1. En el año 2020 la extensión ocupada por las actividades agrícolas en la cuenca alcanzó los 449.97 $km^2$, lo cual representa el 59.57% del total de la superficie de la cuenca (ver Tabla 6.1). El bosque de pino y encino, así como la selva baja caducifolia ocupan una extensión equivalente al 28.24% del territorio, y la zona urbana tiene una ocupación del 6.42%. La zona lacustre, junto con la vegetación hidrófila, ocupan un 4.90%, lo cual comprende tanto la Laguna de Atotonilco como la Presa Hurtado y otros cuerpos de agua menores pero relevantes para el suministro de agua a las tierras dedicadas a la agricultura. No obstante que Laguna de Atotonilco es el cuerpo de agua con segunda mayor extensión dentro de la cuenca, esta no es posible utilizarla para la agricultura debido a su elevado nivel de salinidad, tal como se explica más adelante en la sección referente a calidad del agua.

**Figura 6. 1.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca en el año 2020
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 6. 1.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca de la laguna en el año 2020

| Usos del suelo | Superficie km$^2$ | Superficie % |
|---|---|---|
| Bosque de pino | 2.95 | 0.39 |
| Bosque de encino | 104.51 | 13.84 |
| Selva baja caducifolia | 105.88 | 14.02 |
| Mezquital | 3.30 | 0.44 |
| Vegetación hidrófila | 7.30 | 0.97 |
| Agrícola | 449.97 | 59.57 |
| Pastizal | 0.20 | 0.03 |
| Cuerpo de agua | 29.72 | 3.93 |
| Suelo desnudo | 3.01 | 0.40 |
| Zona urbana | 48.50 | 6.42 |
| **Total** | **755.32** | **100.00%** |

## 6.4. Usos consuntivos en la cuenca

De acuerdo con los datos de CONAGUA (2020d), las principales extracciones de agua en la cuenca provienen del subsuelo y comprenden un volumen de 77.92 hm$^3$/año (77.84%), mientras que las extracciones de aguas superficiales alcanzan apenas 22.18 hm$^3$/año (22.16%). Esto es el resultado de que el territorio se encuentra circunscrito dentro una cuenca endorreica en donde la calidad del agua del vaso lacustre es de características salinas, por tanto, no es apropiada para la agricultura; por ende, la mayor cantidad del agua disponible apta para las actividades agrícolas se encuentra en el subsuelo. El cuerpo de agua superficial que mayormente es usado para riego agrícola es la presa Hurtado, también conocida como Laguna Valencia (ver Figura 6.1).

De acuerdo con las Tabla 6.2, el 93.26% de los aprovechamientos de agua superficial y el 68.55% de las aguas subterráneas están destinados a la agricultura. Sin embargo, dado que un 18.62% del agua subterránea concesionada está destinada a servicios, diferentes usos y usos múltiples, esto deja el consumo total de agua para la agricultura en la cuenca en 74.44%, una cifra ligeramente inferior a la media nacional, la cual fue de 79.8% en el año 2017 (CONAGUA, 2018).

El volumen medio anual de escurrimiento natural en la cuenca de la Laguna de Atotonilco (Laguna Villa Corona A y B) en el año 2020 se reportó en 98.43 $hm^3$ (ver Tabla 4.1) (DOF, 2020). Esta cifra es ligeramente inferior al total de los usos consuntivos en la cuenca, la cual alcanzó 22.18 + 77.92 = 100.1 $hm^3$, razón por la cual la disponibilidad media de agua en la cuenca prácticamente es de cero, tal como se reporta en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2020).

**Tabla 6. 2.** Usos consuntivos del agua concesionada en la cuenca

| Usos | Aguas superficiales $hm^3$/año | Volumen % | Aguas subterráneas $hm^3$/año | Volumen % | Volumen total % |
|---|---|---|---|---|---|
| Agrícola | 20.68 | 93.26% | 53.41 | 68.55% | 74.44% |
| Múltiples | 0.56 | 2.53% | 7.87 | 10.10% | 7.91% |
| Servicios | 0.01 | 0.05% | 6.26 | 8.03% | 6.30% |
| Público urbano | 0.83 | 3.74% | 4.10 | 5.26% | 4.95% |
| Doméstico | 0.00 | 0.00% | 0.01 | 0.01% | 0.01% |
| Industrial | 0.00 | 0.00% | 5.78 | 7.42% | 5.81% |
| Pecuario | 0.09 | 0.41% | 0.10 | 0.13% | 0.19% |
| Diferentes usos | 0.005 | 0.02% | 0.38 | 0.49% | 0.39% |
| **Total** | **22.18** | **100.00%** | **77.92** | **100.00%** | **100.00%** |

## 6.5. Infraestructura de saneamiento

En el municipio de Acatlán de Juárez hay solamente en operación un total de una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual sanea 5.0 litros de aguas negras por segundo (ver Tabla 6.3) (CEA, 2015a).

En el municipio de Jocotepec existe en operación un total de tres plantas de tratamiento de aguas residuales, que en conjunto sanean 101.1 litros de aguas negras por segundo. Además, existe fuera de operación un total de dos plantas de tratamiento de aguas residuales, que en conjunto tenían la capacidad de sanear 7.0 litros por segundo y existen dos plantas de trata-

miento que se encuentran abandonadas, que en conjunto eran capaces de sanear 5.0 litros por segundo (ver Tabla 6.3) (CEA, 2015b).

La población del municipio de Tala tiene un 0.0 % de cobertura en sus aguas tratadas, lo cual posiciona al municipio como uno de los de mayor rezago en cobertura de saneamiento en la cuenca (ver Tabla 6.3) (CEA, 2015c). En el municipio de Tlajomulco de Zúñiga existe en operación un total de siete plantas de tratamiento de aguas residuales, que en conjunto sanean 2,173.0 litros de aguas negras por segundo. También se encuentra una planta de tratamiento fuera de operación con capacidad para sanear 10 litros por segundo, una planta de tratamiento que se encuentra en estabilización con capacidad para sanear 100 litros por segundo, además están dadas de baja 17 plantas de tratamiento de aguas residuales con capacidad para sanear en conjunto 144.0 litros de aguas negras por segundo (ver Tabla 6.3) (CEA, 2015d). En el municipio de Villa Corona existe en operación un total de una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual sanea 12.0 litros de aguas negras por segundo (ver Tabla 6.3) (CEA, 2015d). Es importante subrayar que se trata de una laguna de oxidación, la cual presenta un estado avanzado de azolvamiento.

No obstante, no todas las aguas residuales tratadas descargan a los cuerpos de agua al interior de la cuenca, en la Tabla 6.3 se enuncia que la cuenca en su conjunto tiene una cobertura de saneamiento de 70.57% en las poblaciones urbanas. Es importante recalcar que el agua residual no tratada se descarga de forma directa en los canales y arroyos. Puesto que el tipo de suelo que hay en la cuenca es de baja permeabilidad, esto contribuye a que un volumen importante de las aguas residuales no tratadas tenga su destino final en la Laguna de Atotonilco. Este importante déficit en cuanto a la cobertura de saneamiento, aunado a las características del suelo, constituyen uno de los principales puntos de vulnerabilidad ambiental de la laguna dado que los contaminantes presentes tendrán diferentes impactos en el ecosistema.

**Tabla 6. 3.** Infraestructura de saneamiento por municipio en la cuenca

| Indicador | Unidades | Acatlán de Juárez | Jocotepec | Tala | Tlajomulco de Zúñiga | Villa Corona |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Año de referencia | | 2014 | 2015 | 2015 | 2015 | 2015 |
| Localidades urbanas | No | 3 | 4 | 5 | 27 | 2 |
| Población urbana | hab. | 20,297 | 32,381 | 56,469 | 374,042 | 10,221 |
| Gasto generado | L/s | 144.00 | 108.50 | 130.20 | 2,943.40 | 22.20 |
| Gasto diario generado por hab. | L/hab·d | 187.30 | 289.50 | 199.21 | 679.90 | 187.66 |
| Gasto tratado | L/s | - | 101.10 | - | 2,168.00 | 12.00 |
| PTAR en operación | No | - | 3.00 | - | 6.00 | 1.00 |
| PTAR fuera de operación | No | - | - | - | - | - |
| PTAR abandonadas | No | - | - | - | - | - |
| **Cobertura de saneamiento** | **%** | **-** | **93.18** | **-** | **73.66** | **54.05** |
| Localidades rurales | No | 25 | 55 | 80 | 245 | 23 |
| Población rural | hab. | 2,944 | 9,783 | 12,562 | 42,584 | 6,748 |
| Gasto generado | L/s | 7.40 | 18.20 | 23.20 | 78.40 | 12.40 |
| Gasto diario generado por hab. | L/hab·d | 217.17 | 160.74 | 159.57 | 159.07 | 158.77 |
| Gasto tratado | L/s | 5.00 | - | - | 5.00 | - |
| PTAR en operación | No | 1.00 | - | - | 1.00 | - |
| PTAR fuera de operación | No | - | 2.00 | - | - | - |
| PTAR abandonadas | No | - | 2.00 | - | - | - |
| **Cobertura de saneamiento** | **%** | **67.57** | **-** | **-** | **1.00** | **2.00** |

## 6.6. Participantes de la sociedad civil

La cuenca de la Laguna de Atotonilco es de vocación agrícola y pecuaria. Los principales actores de la sociedad civil son el gremio de los agricultores, cañeros, ganaderos, y pescadores; sin embargo, no existen decisiones consensuadas sobre el uso sustentable de los recursos naturales de la cuenca. Con la creación de la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas (JIMAL) se han impulsado acciones que permitan un mayor nivel de integración y comunicación entre los diferentes gremios con la finalidad de generar consciencia sobre los problemas que surgen derivado del uso de los recursos y generar planes de acción para mejorar las condiciones socioambientales de la cuenca (J. Cortés Aguilar, comunicación personal, 13 de enero de 2022).

En los últimos años se han generado algunas asociaciones gremiales derivado de las actividades de pesca que se llevan a cabo tanto en la Presa Hurtado como en la laguna. Existe igualmente un comité constituido para dar atención a los compromisos adquiridos al ser denominada la laguna sitio Ramsar. A fin de regular las actividades ganaderas de la región, se creó la Asociación Ganadera de Villa Corona y existe la iniciativa de generar una asociación de los empresarios dedicados a las actividades turísticas, quienes han construido varios balnearios como resultado de la existencia de afloramientos de aguas termales en varios puntos de la cuenca (J. Cortés Aguilar, comunicación personal, 13 de enero de 2022).

## 6.7. Calidad del agua

Particularmente las lagunas de Atotonilco, San Marcos, Zacoalco y Sayula presentan abatimientos importantes en los niveles de agua debido a procesos naturales de sedimentación que han ocurrido a lo largo de miles de años. Esto ha originado suelos salinos con altas concentraciones en sodio y como consecuencia de alta conductividad eléctrica alcanzando 1.0769 mmhos/cm en la Laguna de Sayula, 6.7151 mmhos/cm en las lagunas de San Marcos y Zacoalco, y 6.9680 mmhos/cm en la laguna de Atotonilco (INEGI, 2001).

Estos altos niveles de conductividad caen en el rango de clasificación C3-S4 (750 y 2,250 µS/cm)[1] para la laguna de Sayula y C5-S4 para las lagunas de San Marcos, Zacoalco y Atotonilco (4,000 y 10,000 µS/cm) (altamente salinas y muy altas en sodio) (Richards, 1954, 1990). Estos rangos de clasificación corresponden a suelos con muy alto riesgo para los cultivos debido a su alta salinidad y concentración de sodio. Es por ello que cuando la laguna se deseca durante el estiaje, solo se presenta un crecimiento escaso de vegetación ruderal en los límites naturales de la laguna.

El día 23 de febrero y el 21 de agosto del 2021 se llevaron a cabo la primera y segunda campañas de monitoreo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua en cinco estaciones fluviales y cuatro estaciones lacustres (ver Figura 6.2 y Tabla 6.4).

[1] 1 mmho/cm = 1000 µmho/cm = 1 mS/cm[2] = 1000 µS/cm[3]

**Figura 6. 2.** Localización de las estaciones de monitoreo lacustres (L) y fluviales (C) (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 6. 4.** Coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo de calidad de agua y sedimentos en la laguna de Atotonilco

| Id | Latitud Norte | Longitud Oeste |
|---|---|---|
| C1 | 20°25’50.22”N | 103°40’50.75”W |
| C2 | 20°20’43.11”N | 103°39’52.70”W |
| C3 | 20°19’18.37”N | 103°37’23.50”W |
| C4 | 20°21’02.01”N | 103°37’22.48”W |
| C5 | 20°24’16.04”N | 103°39’07.01”W |
| L1 | 20°24’47.24”N | 103°40’45.46”W |
| L2 | 20°23’23.71”N | 103°39’52.06”W |
| L3 | 20°21’44.65”N | 103°39’05.45”W |
| L4 | 20°20’46.97”N | 103°38’25.50”W |
| PTAR | 20°24’30.63”N | 103°39’34.10”W |

En el Anexo VII del presente documento se describe el protocolo de trabajo de campo que se siguió para el monitoreo de agua y sedimentos utilizado para el monitoreo de la laguna y en el Anexo VIII se reportan los datos observados en campo y los medidos en las muestras que se analizaron en el laboratorio de la Unidad de Servicios Analíticos del CIATEJ durante la primera campaña de monitoreo de la laguna llevada a cabo el mes de febrero del 2021.

## 6.8. Parámetros fisicoquímicos

De acuerdo con las mediciones *in situ* en los meses de febrero y agosto del 2021 reportadas para las estaciones lacustres en la Tabla 6.5, se observa que en la laguna domina un pH alcalino alcanzando un valor promedio de 9.54 durante el estiaje frío en el mes de febrero y disminuye durante las lluvias hasta 8.56 durante el mes de agosto. La temperatura promedio en el periodo fue de 20.1±2.2°C, mostrando pocas variaciones en el estiaje y lluvias y posterior a estas. La concentración de oxígeno disuelto (OD) fue de 2.99 mg/L en el estiaje y se incrementa progresivamente de 5.68 a 6.44 mg/L los meses de agosto y diciembre respectivamente. Durante el estiaje la conductividad alcanzó valores promedio de 3,065 µS/cm y debido al efecto de dilución en las lluvias se reduce a un valor promedio de 2,410 µS/cm. La salinidad alcanzó un valor promedio de 1.60 mg/L durante el estiaje, mientras que en lluvias desciende hasta 0.61 mg/L.

Contrastan los valores medidos en las estaciones lacustres con los valores promedio medidos *in situ* en las estaciones fluviales en donde la temperatura fue de 15.6°C durante el estiaje frío y asciende a 23.6°C en las lluvias: El OD fue de 1.03 en el estiaje frío e incrementa muy poco durante las lluvias alcanzando un valor promedio de 1.73 mg/L. La conductividad eléctrica fue de 787.6 µS/cm en el estiaje frío y se reduce a 573.7 µS/cm en las lluvias. La salinidad alcanzó 0.39 mg/L en el estiaje frío y se incrementa ligeramente hasta 0.58 mg/L durante las lluvias.

De acuerdo con los límites establecidos en la LFD para la protección de la vida acuática (ver Tabla 6.6), los valores promedio de la DBO fueron mayores a 30 mg/L tanto en las estaciones lacustres como las fluviales. En las estaciones lacustres durante el estiaje frío la DBO alcanzó un valor promedio de 32.42 mg/L y se incrementa a 66.87 mg/L durante las lluvias debido al efecto de arrastre de contaminantes por escurrimientos dentro de los canales y arroyos que desembocan en la laguna. La DQO alcanzó un valor de 63.48 mg/L en el estiaje y se incrementa a 127.42 mg/L durante las lluvias. Las concentraciones de PT en la laguna son superiores a las establecidas en la LFD alcanzando un valor promedio de 4.00 mg/L durante el estiaje y existe un efecto de dilución durante las lluvias llegando a 1.80 mg/L.

**Tabla 6. 5.** Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos de las estaciones lacustres y fluviales monitoreadas en la Laguna de Atotonilco durante el estiaje (febrero) y lluvias (agosto)

| Parámetros fisicoquímicos | Unidades | LFD | Lacustres | | Fluviales | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | feb | ago | feb | ago |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | mg/L | 30.00 | 32.42 | 66.87 | 70.52 | 70.52 |
| Demanda química de oxígeno (DQO) | mg/L | - | 63.48 | 127.42 | 116.23 | 150.53 |
| Fósforo total (PT) | mg/L | 0.05 | 4.00 | 1.80 | 2.33 | 1.34 |
| Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) | mg/L | - | < 0.50 | 5.17 | 0.87 | 3.96 |
| Nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH4^{+}$) | mg/L | 0.06 | <0.25 | 2.70 | 0.29 | 2.04 |
| Nitrógeno orgánico (NO) | mg/L | - | <0.25 | 2.48 | 0.58 | 1.92 |
| Cianuro total (CN) | mg/L | 0.005 | <0.02 | <0.02 | <0.02 | <0.02 |
| Solidos suspendidos totales (SST) | mg/L | 30.00 | 315.15 | 68.11 | 112.44 | 53.60 |
| Solidos sedimentables (SS) | mL/L | - | < 0.50 | < 0.50 | < 0.50 | < 0.50 |
| Substancias activas al azul de metileno | mg/L | 0.10 | <0.02 | <0.02 | <0.02 | <0.02 |
| Temperatura (T) | °C | CN+1.5 | 18.20 | 22.56 | 15.65 | 28.69 |
| Oxígeno disuelto (OD) | mg/L | 5.00 | 2.99 | 5.68 | 1.03 | 2.23 |
| pH | - | 6.5-8.5 | 9.54 | 8.56 | 8.32 | 7.99 |
| Conductividad eléctrica (CE) | mS/cm | - | 3,065.67 | 1,076.92 | 787.60 | 1,146.34 |
| ORP | mV | - | -225.97 | -207.00 | -274.07 | -206.17 |
| Salinidad | PSU | - | 1.61 | 0.53 | 0.39 | 0.57 |
| Disco Secchi | cm | - | 6.28 | 66.87 | 70.52 | 70.52 |

**Tabla 6. 6.** Valores límite establecidos para parámetros fisicoquímicos seleccionados por la normativa nacional e internacional para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce

| Parámetros fisicoquímicos | Unidad | LFD* | NOM** Promedio Mensual | OECD*** |
|---|---|---|---|---|
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) | mg/L | 30.00 | 30 | 5 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L | - | - | 7 |
| Fósforo total (PT) | mg/L | 0.05 | 5 | 0.2 |
| Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) | mg/L | - | 15 | 4 |
| Nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH4^{+}$) | mg/L | 0.06 | - | 0.4 |
| Nitrógeno orgánico (NO) | mg/L | - | - | - |
| Cianuro total (CN) | mg/L | 0.005 | 2 | - |
| Solidos suspendidos totales (SST) | mg/L | 30.00 | 40 | - |
| Solidos sedimentables (SS) | mL/L | - | 1 | - |
| Substancias activas al azul de metileno | mg/L | 0.10 | - | - |
| Temperatura (T) | °C | CN+1.5 | 40 | ≤28 |
| Oxígeno disuelto (OD) | mg/L | 5.00 | - | ≥7 |
| pH | | 6.5-8.5 | - | 6.5-9.0 |
| Conductividad eléctrica (CE) | mS/cm | - | - | - |
| ORP | mV | - | - | - |
| Salinidad | PSU | - | - | - |
| Disco Secchi | cm | - | - | - |

* De acuerdo con el uso 3 de la Ley Federal de Derechos (LFD, 2020) para la protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales.
** De acuerdo con los valores límite promedio mensuales establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 conforme al criterio de descargas a un cuerpo de agua tipo C para la protección de la vida acuática.
*** De la propuesta normativa de la OECD (2008).

El nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_4^+$) observado en la laguna fue superior al establecido en la LFD de 0.06 mg/L en varios órdenes de magnitud en las estaciones las fluviales y lacustres. Durante el estiaje no se observó presencia de $N\text{-}NH_4+$ en la estación lacustre. Durante las lluvias se observó que el $N\text{-}NH_4+$ alcanza un valor promedio de 2.70 mg/L y en las estaciones fluviales de 2.04 mg/L. La presencia de altas concentraciones de $N\text{-}NH_4+$ son indicadores del uso excesivo de agroquímicos en las zonas agrícolas de la cuenca.

El fósforo total (PT) tiene en el estiaje sus mayores concentraciones alcanzando un promedio de 4.0 mg/L en las estaciones lacustres, mientras que en las estaciones fluviales alcanzó un promedio de 2.33 mg/L, disminuye drásticamente por el efecto de dilución durante las lluvias siendo en promedio de 1.80 mg/L en las estaciones lacustres mientras que no se logró observar en las estaciones fluviales, excepto en la PTAR en donde alcanzó un valor de 1.34 mg/L.

Por otra parte, se observa que los SST se encuentran en altas concentraciones en la laguna y en las estaciones fluviales. Su presencia es indicio de procesos erosivos que ocurren en la cuenca y que llegan a los cauces fluviales. Las características someras de la laguna facilitan el proceso de resuspensión de sedimentos debido a la acción del viento. No se observó presencia de cianuros en ninguna de las estaciones monitoreadas.

La conductividad eléctrica promedio (CE) en las estaciones lacustres fue de 3,065.67 µS/cm durante el estiaje y disminuye por efectos de dilución durante las lluvias a 1,076.92 µS/cm, lo cual permite clasificar a esta laguna como de alto nivel de salinidad. En las estaciones fluviales la CE promedio fue de 787.60 µS/cm durante el estiaje y se incrementa durante las lluvias 1,146.34 µS/cm debido al incremento de sólidos disueltos que se arrastran hasta los arroyos y canales de la cuenca. En general la Laguna de Atotonilco es un lago con un alto nivel de mezclado dado que no se presentaron desviaciones importantes en los valores medidos en las estaciones lacustres de monitoreo. En la campaña de muestreo de febrero no se reportaron resultados para la estación L1 dado que la laguna estaba seca en este punto de muestreo.

## 6.9. Parámetros microbiológicos

En el caso de los parámetros microbiológicos se analizaron los siguientes indicadores: Coliformes totales, Coliformes fecales, *Escherichia coli* (*E. coli*), Salmonella, *Pseudomona Aeruginosa* y huevos de helmintos. Los resultados hasta ahora reportados indican que existen abundantes coliformes totales y fecales, así como *E. coli* en las aguas de las estaciones fluviales (ver Anexo VIII). Sin embargo, en la laguna estos patógenos disminuyen en cantidad notablemente, esto quizás debido a la alta salinidad del agua y a la exposición a la luz ultravioleta del sol que logra reducir en gran medida la capacidad de sobrevivencia de los organismos patógenos en la zona fótica de la laguna.

## 6.10. Metales pesados en sedimentos

De acuerdo con los resultados reportados en el Anexo VIII sobre el contenido de metales pesados en los sedimentos de la Laguna de Atotonilco, estos son muy similares a los encontrados en otros cuerpos de agua cercanos a la Laguna de Atotonilco y siguen un patrón de concentración muy similar al de otros cuerpos de agua de la región (de Anda *et al.*, 2019).

Las altas concentraciones de algunos metales pesados tales como el aluminio (Al), hierro (Fe) y manganeso (Mn), seguido de otros metales pesados como el cromo (Cr), cobre (Cu) y zinc (Zn) están conformes a las concentraciones encontradas en Lago de Chapala y Laguna de Cajititlán, lo cual permite inferir que se trata de componentes naturales asociados a la geología volcánica propia de la región. Sin embargo, la presencia de plomo (Pb) en las cuatro estaciones lacustres pudiera deberse a depósitos de contaminantes atmosféricos procedentes de emisiones de la industria, quema clandestina de tiraderos de basura, o a las emisiones del tránsito vehicular de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Asimismo, existen algunos plaguicidas cuya formulación contiene Pb como el arseniato ácido de plomo ($PbHAsO_4$), que pudieran estarse aplicando en la cuenca para el control de insectos que dañan a los cultivos y llegar a los cuerpos de agua después de ser aplicados en campo.

## 6.11. Metales pesados en agua

Al igual que en los sedimentos, el análisis de metales pesados en agua reveló cantidades importantes de aluminio (Al), fierro (Fe) y manganeso (Mn), lo cual se corresponde con las características geológicas y edafológicas que dominan en la cuenca. Estos metales se encontraron tanto en las estaciones fluviales como en las lacustres al igual como se observó en el caso del análisis de los sedimentos correspondientes a las mismas estaciones. A diferencia de los sedimentos, en las muestras de agua de las estaciones lacustres L2 y L3 como en las descargas de las aguas residuales de la PTAR de Villa Corona se encontró presencia de arsénico (As), la cual puede estar asociada a actividades antrópicas en la cuenca dado que con frecuencia este elemento se encuentra presente en la formulación de algunos plaguicidas tal como se explicó en la sección anterior (Bencko & Foong, 2017).

## 6.12. Plaguicidas

Los plaguicidas se definen como un amplio espectro de mezclas químicas y orgánicas que incluyen insecticidas, fungicidas, reguladores del crecimiento vegetal, etc. La principal fuente que genera la presencia de plaguicidas en los ecosistemas son la agricultura y la silvicultura (Rajmohan *et al.*, 2020). Sin embargo, se reporta que en concentraciones urbanas estos compuestos se aplican de manera intensiva en jardinería doméstica y urbana (Meftaul *et al.*, 2020). Durante los últimos años se observa que los residuos de plaguicidas se han esparcido por el medio ambiente, contaminando diferentes ecosistemas y comprometiendo los recursos alimentarios y hídricos. Se destaca que esa contaminación proviene del crecimiento de la población, ya que dicho crecimiento no sería posible sin un aumento en la producción de alimentos, y esto está estrechamente relacionado con el uso de pesticidas y fertilizantes (Carvalho, 2017). Preferiblemente, un pesticida debe ser fatal para los organismos objetivo para controlar el efecto de las especies de malezas indeseables, en lugar de crear estragos en los humanos y el medio ambiente. Sin embargo, se ha visto que el uso desproporcionado de estos compuestos se vuelve letal,

afectando a plantas y animales de toda la estructura ecológica (Rattner, 2009). El uso generalizado de estos pesticidas químicos peligrosos tiene un mayor impacto en los sistemas humanos y de otro tipo (Rajmohan *et al.*, 2020).

El uso excesivo de plaguicidas es motivo de preocupación en México. Se han encontrado altos niveles de contaminantes tóxicos (p. ej., metales pesados, pesticidas) en el suelo, el agua y las plantas y especies animales en algunos lugares específicos de México, y se han identificado efectos adversos en la salud humana, especialmente en los niños (OCDE, 2013). De acuerdo con Bejarano (2018) del 2000 al 2014 el consumo de plaguicidas en México aumentó en un 59.2% siendo los fungicidas los plaguicidas más utilizados, seguidos de los insecticidas y herbicidas.

México no cuenta con una política nacional general específica sobre plaguicidas. El Plan Nacional de Desarrollo, que es la declaración de política de más alto nivel del país, no aborda específicamente los plaguicidas. En cambio, se incluyen metas y objetivos en diversos instrumentos normativos y normativos que tratan con estas sustancias (DOF, 2019c).

El CIATEJ cuenta con un laboratorio acreditado para la realización de pruebas y ensayos en plaguicidas. Con la finalidad de tener una primera aproximación a la determinación de la presencia de plaguicidas en la Laguna de Atotonilco, se tomó la determinación de analizar aquellos plaguicidas que cuentan con acreditación en CIATEJ dado que son los que mayormente se presentan en las muestras de productos agrícolas que son analizadas en este laboratorio. Los límites de detección de los 23 compuestos plaguicidas analizados se encuentran reportados en el Anexo VII.9.

Debido a ello se investigó la presencia de 23 plaguicidas de aplicación agrícola en muestras tomadas en las estaciones lacustres de la Laguna de Atotonilco; se puede afirmar que la totalidad de estos no fueron detectados de acuerdo con los métodos estándar utilizados en el laboratorio. Sin embargo, es necesario mencionar que los límites de detección utilizados en el laboratorio corresponden a los establecidos en las normas oficiales para la detección de estos compuestos en alimentos, por lo que en algunos de los compuestos plaguicidas analizados aún no se podría afirmar que estos

se encuentran por debajo de los límites establecidos en la Ley Federal de Derechos para la protección de la vida acuática (LFD, 2020). Se encuentran aún en revisión los límites de detección y las concentraciones de los plaguicidas analizados y reportados en el Anexo VII.9.

Ejemplos del uso de plaguicidas en la cuenca se puede observar en la Figura 6.3 [A], en donde se muestra en la imagen superior un envase abandonado del herbicida comercial denominado "Picaña", el cual es tóxico para el ser humano (Lucava, s/f). En la imagen inferior de la Figura 6.3 [B], se muestra el envase abandonado del fungicida sistémico denominado comercialmente Zuka® del grupo de los triazoles, el cual es altamente tóxico, persistente en agua, y con alto potencial de bioacumulación (Gleba, 2018). Por lo que el uso de estos plaguicidas debería estar restringido en la cuenca.

**Figura 6. 3.** Envases de plaguicidas encontrados en las áreas agrícolas de la cuenca (Fuente: J. de Anda-Sánchez, 2021, elaboración propia)

## 6.13. Antibióticos y hormonas

Al igual que los plaguicidas, los antibióticos y las hormonas están representando en los últimos años un problema global de contaminación en los cuerpos de agua superficiales y aguas subterráneas debido al riesgo que estos representan para el microbioma de los ecosistemas acuáticos y las afectaciones en las aves acuáticas y otras especies (Milić *et al.*, 2013). Se realizó una exploración para determinar la posible presencia de 18 antibióticos y hormonas comúnmente usados en México para uso humano y veterinario. En la Tabla VII.9 de los anexos se muestran los primeros resultados. En la regulación mexicana no existen límites establecidos de antibióticos y hormonas en cuerpos de agua con la finalidad de proteger la vida acuática, razón por la cual se establece como parámetro de comparación los límites sugeridos en la literatura (Sanseverino *et al.*, 2018; Bilal *et al.*, 2020).

El CIATEJ cuenta con un laboratorio acreditado para la realización de pruebas y ensayos en antibióticos y hormonas que pueden estar contenidos en muestras de alimentos. Con la finalidad de tener una primera aproximación a la determinación de la presencia de antibióticos y hormonas que pudieran estar presentes en el agua de la Laguna de Atotonilco, se tomó la determinación de analizar aquellos antibióticos y hormonas que regularmente se identifican en las muestras de alimentos. Los límites de detección de los 16 antibióticos y hormonas analizados se encuentran reportados en el Anexo VII.9.

Los primeros resultados muestran que no se logró detectar presencia de ninguno de los antibióticos investigados. Su ausencia se pude deber a que las cantidades en las cueles puedan estar presentes en las muestras de agua analizadas no son detectables con los límites de detección establecidos en los métodos estándar utilizados en el laboratorio los cuales son aplicables para alimentos de acuerdo con las normas oficiales. Por lo antes mencionado, sería necesario generar un proyecto especial de investigación para desarrollar nuevos métodos analíticos que permitan reducir los límites de detección por debajo de los establecidos en las normas oficiales.

## 6.14. Fuentes potenciales de contaminación del agua

De acuerdo con la información proporcionada en las secciones anteriores, las principales fuentes puntuales de contaminación del agua superficial son las aguas residuales municipales descargadas de forma directa a los arroyos y canales que desembocan en la Laguna de Atotonilco. El desarrollo de las actividades industriales que se han ido impulsando en los últimos años en los terrenos al Sur de la laguna han comenzado a manifestar sus impactos en la calidad del agua de los canales que descargan sus aguas en ella. Las elevadas concentraciones de fósforo encontradas en la laguna y en los canales que la drenan son un indicio del uso excesivo de agroquímicos en la agricultura de la cuenca. El proceso de eutrofización en la laguna no se ha manifestado debido a la elevada conductividad del agua de la laguna, la cual inhibe la formación de algas de agua dulce o el desarrollo de maleza acuática flotante.

De los primeros hallazgos en la calidad del agua observada en las principales corrientes fluviales que drenan a la laguna se deduce la necesidad de contar con infraestructura básica de saneamiento en todas las poblaciones asentadas en la cuenca y de revisar las condiciones en las que descargan las aguas residuales procedentes de las actividades industriales. Asimismo, es relevante reducir la contaminación por fuentes difusas derivadas de las actividades agrícolas a través de la implementación de buenas prácticas agrícolas orientadas a reducir el uso de agroquímicos en las tierras de cultivo cercanas a las corrientes fluviales que descargan en la laguna y en las que se encuentran aledañas a las zonas de humedales de la laguna (ver Figura 6.4 y 6.5).

**Figura 6. 4.** Vista aguas arriba del canal C2 localizado en Atotonilco el Bajo (Fuente: J. de Anda-Sánchez, 2021, elaboración propia)

**Figura 6. 5.** Vista aguas abajo del canal C2 localizado en Atotonilco el Bajo (Fuente: J. de Anda-Sánchez, 2021, elaboración propia)

## 6.15. Productividad primaria

La Laguna de Atotonilco presenta un régimen hidrológico estacional con lluvias en verano y dos épocas de estiaje: una fría en los meses de noviembre a febrero y una cálida de marzo a mayo (Ibarra-Montoya *et al.*, 2012). Los meses evaluados fueron febrero, septiembre y diciembre, por lo que los resultados muestran el comportamiento de antes, durante y después de la temporada de lluvias.

La productividad neta se reporta en la Tabla 6.7 en unidades de gramos de carbón por metro cuadrado por año (g C $m^{-2}$año$^{-1}$: media, desviación estándar). En el mes de febrero se obtuvo el valor más elevado (3.438±0.183). En septiembre, la productividad descendió ($P>0.05$) mostrando los valores más bajos registrados durante el estudio (0.849±3.050). Finalmente, para el tercer y último muestreo de diciembre se observó un incremento no significativo en la productividad (3.066±3.725).

La respiración se reporta también en la Tabla 6.7 en unidades de mg $O_2$ $L^{-1}h^{-1}$ (media y desviación estándar). En el mes de febrero se obtuvo el valor más bajo (0.031±0.038). En septiembre se presentó un incremento no significativo (0.047±0.111). Finalmente, para el muestreo de diciembre se registró un decremento notable ($P>0.05$) siendo el valor más bajo de los meses evaluados (-0.053±0.250).

**Tabla 6. 7.** Compendio de resultados del metabolismo fitoplanctónico en la Laguna de Atotonilco durante el año 2021

| Estación / Fecha | Respiración $mgO_2\ L^{-1}h^{-1}$ | Respiración $mgC\ m^{-3}h^{-1}$ | Prod. Bruta $mgO_2L^{-1}h^{-1}$ | Prod. Bruta $mgC\ m^{-3}h^{-1}$ | Prod. Neta $mgC\ m^{-3}h^{-1}$ | Prod. Neta $gC\ m^{-2}año^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **21/02/2021** | | | | | | |
| L2 | 0.000 | 0.000 | 0.108 | 0.040 | 0.040 | 3.543 |
| L2 | 0.020 | 0.008 | 0.128 | 0.048 | 0.040 | 3.543 |
| L2 | 0.074 | 0.028 | 0.172 | 0.065 | 0.037 | 3.227 |
| **Media** | **0.031** | **0.012** | **0.136** | **0.051** | **0.039** | **3.438** |
| **Desv. Est.** | **0.038** | **0.014** | **0.033** | **0.012** | **0.002** | **0.183** |
| **21/09/2021** | | | | | | |
| L2 | 0.095 | 0.036 | 0.063 | 0.024 | -0.012 | -1.040 |
| L2 | -0.079 | -0.030 | 0.054 | 0.020 | 0.050 | 4.368 |
| L2 | 0.127 | 0.047 | 0.103 | 0.039 | -0.009 | -0.780 |
| **Media** | **0.047** | **0.018** | **0.073** | **0.028** | **0.010** | **0.849** |
| **Desv. Est.** | **0.111** | **0.042** | **0.026** | **0.010** | **0.035** | **3.050** |
| **21/12/2021** | | | | | | |
| L2 | 0.100 | 0.038 | 0.133 | 0.050 | 0.013 | 1.095 |
| L2 | -0.483 | -0.181 | -0.233 | -0.088 | 0.094 | 8.213 |
| L2 | 1.833 | 0.688 | 1.733 | 0.650 | -0.038 | -3.285 |
| L2 | 0.083 | 0.031 | 0.133 | 0.050 | 0.019 | 1.642 |
| L2 | -0.067 | -0.025 | 0.100 | 0.038 | 0.062 | 5.475 |
| L2 | 0.100 | 0.038 | 0.067 | 0.025 | -0.013 | -1.095 |
| **Media** | **-0.053** | **-0.020** | **0.040** | **0.015** | **0.035** | **3.066** |
| **Desv. Est.** | **0.250** | **0.094** | **0.155** | **0.058** | **0.043** | **3.725** |

En las lagunas someras y turbias es frecuente que la productividad primaria fitoplanctónica tenga valores bajos, nulos e incluso negativos debido a la dominancia de la respiración sobre la producción (Blindow *et al.*, 2006; Umaña-Villalobos *et al.*, 2015). Por ejemplo, el Lago Börringesjo de características someras ubicado al Sur de Suecia, mostró un rango de valores de productividad de fitoplancton: desde valores negativos (-96 g C $m^{-2}$ $año^{-1}$)

hasta positivos (60 g C $m^{-2}$ $año^{-1}$) en un estudio que se prolongó de mayo a septiembre del 2005 (Blindow *et al.*, 2006). Algunos lagos someros tienen una alta turbidez como condición natural, mientras que otros la tienen como consecuencia de cambios en el uso del suelo y vegetación como ha sido reportado en la región de la Pampa en Argentina (Allende *et al.*, 2009).

El metabolismo de la Laguna de Atotonilco reportado por primera vez en este estudio sienta un precedente como referencia para posteriores análisis. Como se ha explicado, fue posible detectar un cambio en el metabolismo de la laguna a través del ciclo estacional, no obstante que los valores de productividad primaria fitoplanctónica de la Laguna de Atotonilco presentaron promedio anual de 2.56 g C $m^{-2}$ $año^{-1}$. Para fines comparativos se apunta la productividad primaria fitoplanctónica de la Lago de Chapala en el rango de 80 a 132 g C $m^{-2}$ $año^{-1}$ en el período de 1983 a 1990 (Dávalos-Lind & Lind, 2001).

## 6.16. Análisis correlacional de los indicadores del metabolismo con parámetros fisicoquímicos y biológicos

En primer lugar, se procedió con un análisis multivariado de localización de componentes principales (CPA) para la detección de variables asociadas. El procedimiento requiere que el conjunto de datos sea numérico y que tenga representatividad en todas las temporadas de muestreo (Tabla 6.8). El gráfico de sedimentación (Figura 6.6) muestra que los datos están asociados a dos variables auxiliares o componentes principales. La primera componente tiene un *eigenvalor* de 10.72 que explica el 59.54% de la varianza. La segunda tiene un *eigenvalor* de 7.28 y explica el 40.46% de la varianza.

**Figura 6. 6.** Gráfico de sedimentación indicando que los datos son explicados por dos variables de apoyo (componentes principales)
(Fuente: M. C. Garibay-Martínez y J. L. Zavala-Aguirre, 2023, elaboración propia)

A continuación, se obtuvo el gráfico bidimensional de pesos de las componentes (Figura 6.7) para la localización de los factores asociados.

**Figura 6. 7.** Gráfico de pesos de las componentes para observar el grado de asociación entre los factores estudiados en la Laguna de Atotonilco
(Fuente: M. C. Garibay-Martínez y J. L. Zavala-Aguirre, 2023, elaboración propia)

Se aprecian en forma cualitativa las relaciones entre las variables consideradas. Por ejemplo, se puede observar en el eje de la componente principal 1, que las variables de productividad neta y oxígeno están asociadas de forma directamente proporcional al fósforo total e inversamente proporcional a la temperatura. Se puede apreciar que la turbidez esta más relacionada con la componente 2.

**Tabla 6. 8.** Cotejo de los parámetros analizados en la Laguna de Atotonilco durante el año 2021

| Tipo de variable | Variable | Muestreo 1 | Muestreo 2 | Muestreo 3 | Set completo |
|---|---|---|---|---|---|
| Metabolismo | Productividad bruta | X | X | X | X |
| | Productividad neta | X | X | X | X |
| | Respiración | X | X | X | X |
| Metal | Al | X | X | X | X |
| | As | | | X | |
| | Fe | X | X | X | X |
| | Mn | X | X | X | X |
| Biológica | Coliformes fecales | X | X | X | X |
| | Coliformes totales | X | X | X | X |
| | DBO | X | X | X | X |
| | *E. coli* | X | X | X | X |
| Fisicoquímica | DQO | X | X | X | X |
| | Fósforo total | X | X | X | X |
| | Nitrógeno amoniacal | | X | X | |
| | Nitrógeno orgánico | | X | X | |
| | Nitrógeno total Kj. | | X | X | |
| | $O_2$ | X | X | X | X |
| | S. sed. | X | | | |
| | SST | X | X | X | X |
| | pH | X | X | X | X |
| | Temperatura | X | X | X | X |
| | Turbidez (Secchi) | X | X | X | X |

Se procedió con un análisis de correlación múltiple para identificar los índices "Pearson Producto-Momento" específicos para cada par de variables (Figura 6.8). El procedimiento es un análisis cuantitativo en donde se pueden corroborar las asociaciones detectadas en el análisis de CPA. En la parte superior de la figura se muestra la escala de color asociada al coeficiente de correlación en el rango de -1 (azules) a +1 (rojos). Las variables con baja correlación con tendencia al valor cero, se presentan en colores verdes.

**Figura 6. 8.** Correlaciones Pearson Producto-Momento entre las variables consideradas (Fuente: M. C. Garibay-Martínez y J. L. Zavala-Aguirre, 2023, elaboración propia)

A continuación, se seleccionaron los pares de variables con alta significancia ($P<0.05$) y mediana significancia ($P<0.10$). En la Tabla 6.9, se presenta el listado de variables seleccionadas. Las ocho primeras obtuvieron alta significancia estadística ($P<0.05$) y las últimas siete, mediana significancia estadística ($0.05<P<0.10$). En la primera columna se inicia con la variable dependiente y entre paréntesis se encuentra la variable independiente. Los coeficientes de regresión lineal, a y b, se refieren al modelo lineal general "$Y=a + bX$". En la última columna, el signo positivo o negativo del coeficiente *r*, se refiere a que la relación entre las variables es directa o inversamente proporcional, respectivamente.

Por ejemplo, la relación entre la producción neta de fitoplancton (g Carbón año$^{-1}$) en función de la cuenta de coliformes fecales tiene una significancia $P=0.0545$ y una relación inversamente proporcional $r= -0.9963$. La representación algebraica obtenida de los coeficientes de regresión puede expresarse como:

$$Y=3.353900 - 0.007174X$$

Donde Y corresponde a la productividad primaria neta en unidades de gramos de carbón año-$^{1}$; X corresponde a la cuenta de coliformes totales en unidades de número más probable en 100 mL de muestra. Los modelos lineales de los otros pares de variables se pueden obtener en forma similar.

**Tabla 6. 9.** Modelos lineales entre las variables que resultaron con buenos niveles de asociación estadística (P<0.10 y P<0.05)

| Variables | Coeficientes de regresión lineal | | Valor P | Coeficiente r |
|---|---|---|---|---|
| | ***a*** | ***b*** | | |
| $\%O_2$ ($O_2$) | 0.000003 | 0.106723 | 0.0000 | 1.0000 |
| P Bruta Carbón (pH) | -0.205425 | 0.026020 | 0.0143 | 0.9997 |
| P Bruta O2 (pH) | -0.547801 | 0.069386 | 0.0143 | 0.9997 |
| P Bruta Carbón (E. coli) | 0.059936 | -0.001938 | 0.0161 | -0.9997 |
| P Bruta O2 (E. coli) | 0.159828 | -0.005169 | 0.0161 | -0.9997 |
| *Col. Fecales (Col. Totales)* | 9.586650 | 0.148022 | 0.0280 | 0.9990 |
| E. coli (pH) | 136.7530 | -13.40760 | 0.0303 | -0.9988 |
| Fósforo Total (Temperatura) | 5.753330 | -0.168333 | 0.0400 | -0.9980 |
| P Neta g año$^{-1}$ (Col. Fecales) | 3.353900 | -0.007174 | 0.0545 | -0.9963 |
| P Neta mg hora$^{-1}$ (Col. Fecales) | 0.038287 | -0.000082 | 0.0545 | -0.9963 |
| DBO (DQO) | -5.339930 | 0.565958 | 0.0555 | 0.9962 |
| P Neta g año-1 (Col. Totales) | 3.281980 | -0.001058 | 0.0824 | -0.9916 |
| P Neta mg hora$^{-1}$ (Col. Totales) | 0.037466 | -0.000012 | 0.0824 | -0.9916 |
| %O2 (P Neta g año$^{-1}$) | 0.489657 | 0.029546 | 0.1070 | 0.9859 |
| %O2 (P Neta mg hora$^{-1}$) | 0.489657 | 2.588230 | 0.1070 | 0.9859 |

Debido a que el principal indicador del metabolismo de la laguna es la productividad primaria fitoplanctónica neta (gC m$^{-2}$año$^{-1}$ o mgC m$^{-3}$h$^{-1}$), es conveniente proceder con análisis de correlación múltiple que ayuden a su estimación, en función de otros parámetros obtenidos en campo.

La generación de modelos de correlación múltiple en el presente estudio está limitada debido a que sólo se realizaron tres muestreos (febrero, septiembre y diciembre de 2021). En estas condiciones, la resolución del sistema de ecuaciones permite sólo la participación de tres variables: una dependiente y dos independientes. Por otro lado, el tratar de completar la información mediante la estimación de datos en los meses restantes, con la generación de modelos dependientes del tiempo, no ayuda porque introduce el problema de la colinealidad (Belsley, 1991). Esta circunstancia

hace que el sistema de ecuaciones sea irresoluble, debido a que al valor del determinante es cero y no se puede obtener su matriz inversa.

Explicada la limitación, se procedió con la generación de modelos factoriales que expliquen la productividad de la laguna en base a las combinaciones de las 13 variables. Las combinaciones consideradas fueron grupos de dos. De las 78 combinaciones posibles, sólo dos mostraron significancia estadística (P< 5%) y otras dos entre el el 5% y 10% (ver Tabla 6.10).

**Tabla 6. 10.** Modelos factoriales que explican en forma significativa la productividad primaria neta. Las variables independientes están abreviadas como "Ind 1" y "Ind 2"

| Variables | | Valores de P | | Modelos factoriales |
|---|---|---|---|---|
| Ind 1 | Ind 2 | Ind 1 | Ind 2 | |
| $O_2$ | Temp. | 0.0430 | 0.0345 | P. Neta = 64.4166 - 6.84488*$O_2$ - 1.30601*Temp |
| F. Tot | $O_2$ | 0.0445 | 0.0504 | P. Neta = 20.5402 + 7.63092*Fósforo Total - 6.9179*$O_2$ |
| Col Fec | $O_2$ | 0.0841 | 0.0910 | P. Neta = 34.5371 - 0.0158558*Col. Fec - 5.83447*$O_2$ |
| Col Tot | $O_2$ | 0.0985 | 0.1065 | P. Neta = 32.3445 - 0.00218797*Col. Tot - 5.47318*$O_2$ |

Los coeficientes de determinación en los cuatro modelos oscilaron entre 31% y 43% quedando evidencia de que la productividad primaria fitoplanctónica es controlada también por otras variables. Es notable que, en las cuatro ecuaciones de la Tabla 6.10, la concentración del oxígeno disuelto presenta un papel determinante en la productividad: acción inversamente proporcional evidenciada por el signo negativo de los coeficientes. Lo mismo ocurre con la temperatura y los coliformes. Por el contrario, la concentración de fósforo está asociada a factores de promoción de la productividad fitoplanctónica (coeficiente con signo positivo).

## 6.17. Consideraciones finales

Surge la conveniencia de dar continuidad al análisis de la producción primaria en la Laguna de Atotonilco, tanto en los diferentes meses del año como en la identificación taxonómica de las especies existentes. Aunque el presente estudio se ha concentrado en la fracción unicelular del fitoplanc-

ton, durante las campañas de muestreo fue evidente la ubicuidad de algas filamentosas que flotan a la deriva de las corrientes superficiales. Es conveniente cuantificar su aporte, así como determinar la identidad taxonómica de las especies presentes. De igual forma, es conveniente la evaluación de la productividad del perifiton en toda la franja litoral expuesta a la estimulación de la luz (zona fótica litoral). Además, habrá que considerar el aporte a la productividad del perifiton que se genera en las superficies de rocas y plantas emergentes. Todo un apartado complementario será la evaluación de la producción primaria de micrófitos acuáticos, tanto emergentes como las que están a la deriva. Finalmente habrá que considerar la productividad de las comunidades heterotróficas que soportan cadenas alimenticias importantes en sistemas con alta turbidez (Dávalos Lind & Lind, 2001). Una vez conocida la dinámica e importancia de las diferentes componentes de la producción primaria, se podrán evaluar las principales rutas por las que circula la energía en el ecosistema y, por tanto, se podrán generar estrategias de manejo acordes con la dinámica natural.

# Capítulo 7

## Condición socioambiental de la cuenca

Demetrio Meza Rodriguez[1]
José de Anda Sánchez[2]
Luis Alberto Olvera Vargas[3]

[1] Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.
[2] Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.
[3] Investigador Cátedras CONACHYT. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.

## 7.1. Introducción

De acuerdo con la SEMADET (2009), la laguna enfrenta una importante problemática ambiental que ha afectado el régimen hidrológico y la calidad del agua del ecosistema lacustre poniendo en riesgo la viabilidad de que este cuerpo de agua mantenga las condiciones adecuadas para el soporte de la vida acuática y de las comunidades de aves residentes y migratorias. Se describe a continuación algunos de los problemas:

a) Históricamente ha existido una constante deforestación (principalmente de bosque de pino que circunda el área alta de la cuenca), lo que ha provocado la erosión de los suelos y arrastre de sedimentos al cuerpo de agua, así como la introducción de especies exóticas en ecosistemas naturales que impactan negativamente sobre la flora natural del sitio y la constante presión de desarrollo rural a semiurbano de las poblaciones que allí existen, gradualmente están creciendo y demandando diversos recursos naturales y una transformación gradual y acelerada del área natural para poder así obtener los beneficios sociales y económicos exigidos por los habitantes.

b) La construcción de obras de irrigación tales como presas, bordos y otros que retienen el agua pluvial de las zonas de montaña en favor de la agricultura, provocando con ello una disminución en el aporte del agua, fragmentando el hábitat de las poblaciones de aves, especies terrestres

y vegetación natural del lugar debido a la disminución de los aportes en los arroyos y ríos y prolongando los periodos secos en la superficie de agua de la laguna. Otro factor importante son los sistemas de riego tradicional, los cuales ocasionan importantes dispendios de agua. Aunado a ello existen conflictos sociales por el agua debido a la negativa por parte de las comunidades que administran las unidades de riego de impedir el flujo hacia la laguna de los excedentes de agua.

c) El rápido cambio en el uso de suelo de la cuenca al que se destinan las áreas naturales de esta favorece el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias, así como un incremento en el proceso de urbanización.

d) Las modificaciones en el régimen de precipitación pluvial en la región debido a factores asociados al cambio climático, así como la disminución de la humedad del suelo, constituyen escenarios futuros para el Occidente de México que incrementan la vulnerabilidad hídrica de la cuenca de la Laguna de Atotonilco dadas las características someras del cuerpo de agua. Adicionalmente la falta de agua se traducirá en disminución en la recarga natural hacia los acuíferos disminuyendo la disponibilidad del recurso para los habitantes de la cuenca.

e) La falta de aplicación efectiva y conocimiento de la normatividad ambiental en los municipios y comunidades asentadas en la cuenca; así como la realización de diversas obras de beneficio público sin contar con evaluaciones ambientales certeras y confiables que garanticen un desarrollo sustentable para la región en la que se encuentra la cuenca y particularmente para la Laguna de Atotonilco.

Como consecuencia de los problemas antes mencionados, cada vez es menor el agua que almacena la laguna, por lo que se corre el riesgo de que se inicie un proceso de desertificación de la cuenca y con ello se pierdan los sitios propicios como hábitats de diversas especies de fauna, principal-

mente de las aves migratorias (SEMARNAT, 2009). En caso de que este proceso se lleve a cabo, la población de las comunidades locales serán las preponderantemente afectadas debido a que el proceso de desertificación conlleva el incremento de la temperatura local, incremento de las partículas suspendidas en el aire debido a la acción del viento sobre una planicie seca y como consecuencia la salud de la población puede sufrir consecuencias debido al cambio en el clima y en la calidad del aire local. Por ello, resulta necesario desarrollar e impulsar mecanismos interinstitucionales que promuevan la conservación, el desarrollo social y económico del sitio.

## 7.2. Cambios en el uso de suelo

De acuerdo con los mapas del uso de suelo de los años 2011 y 2020 mostrados en las Figura 7.1 y 7.2 y en las Tablas 7.1 y 7.2, se observan cambios importantes en el uso del suelo en la cuenca en un periodo de apenas nueve años (Tabla 7.3). En este periodo de tiempo se observa una diferencia negativa del 70.35% en bosque de pino, del 11.19% en selva baja caducifolia, del 66.73% en mezquital, y del 23.08% en vegetación hidrófila. De la Tabla 7.3 también se deduce que la superficie agrícola permaneció prácticamente igual con una ligera disminución del 1.85%. Los usos de suelo que incrementaron su superficie de ocupación en la cuenca fue la de bosque de encino con un 22.45% y la zona urbana con un 164.31%. La superficie de la laguna y de otros cuerpos de agua presentaron una variación positiva del 11.14%; sin embargo, como ya se mencionó en la sección del balance hídrico de la cuenca de este documento, la laguna presenta variaciones importantes en la superficie y volumen de captación dependiendo del régimen anual de precipitación en la cuenca.

**Figura 7. 1.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2011 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Figura 7. 2.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2020 (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 7. 1.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2011

| Uso de suelo | Superficie km$^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|
| Bosque de pino | 9.95 | 1.32 |
| Bosque de encino | 85.35 | 11.3 |
| Selva baja caducifolia | 119.22 | 15.78 |
| Mezquital | 9.92 | 1.31 |
| Vegetación hidrófila | 9.49 | 1.26 |
| Agrícola | 458.46 | 60.7 |
| Pastizal | 7.06 | 0.93 |
| Cuerpo de agua | 26.74 | 3.54 |
| Suelo desnudo | 10.78 | 1.43 |
| Zona urbana | 18.35 | 2.43 |
| **Total** | **755.32** | **100.00%** |

**Tabla 7. 2.** Uso de suelo y vegetación en la cuenca para el año 2020

| Uso de suelo | Superficie km$^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|
| Bosque de pino | 2.95 | 0.39 |
| Bosque de encino | 104.51 | 13.84 |
| Selva baja caducifolia | 105.88 | 14.02 |
| Mezquital | 3.30 | 0.44 |
| Vegetación hidrófila | 7.30 | 0.97 |
| Agrícola | 449.97 | 59.57 |
| Pastizal | 0.20 | 0.03 |
| Cuerpo de agua | 29.72 | 3.93 |
| Suelo desnudo | 3.01 | 0.40 |
| Zona urbana | 48.50 | 6.42 |
| **Total** | **755.32** | **100.00%** |

**Tabla 7. 3.** Diferencias en el uso del suelo en los años 2011 y 2020 en la cuenca

| Uso de suelo | Superficie 2011 km² | Superficie 2020 km² | Diferencias (%) |
|---|---|---|---|
| Bosque de pino | 9.95 | 2.95 | 70.35 |
| Bosque de encino | 85.35 | 104.51 | 22.45 |
| Selva baja caducifolia | 119.22 | 105.88 | 11.19 |
| Mezquital | 9.92 | 3.3 | 66.73 |
| Vegetación hidrófila | 9.49 | 7.3 | 23.08 |
| Agrícola | 458.46 | 449.97 | 1.85 |
| Pastizal | 7.06 | 0.2 | 97.17 |
| Cuerpo de agua | 26.74 | 29.72 | 11.14 |
| Suelo desnudo | 10.78 | 3.01 | 72.08 |
| Zona urbana | 18.35 | 48.5 | 164.31 |
| **Total** | **755.32** | **755.32** | |

## 7.3. Análisis del cambio en el uso del suelo

La Figura 7.3 muestra los cambios en el uso del suelo observados en el año 2011 y el 2020 en la cuenca de la Laguna de Atotonilco. Para ello se usó la metodología de la clasificación de las leyendas jerárquicas para el cambio de uso de suelo y vegetación de acuerdo con Palacio-Prieto et al. (2004) y que se muestra en la Tabla 7.4. De acuerdo con la Figura 7.3 y considerando esta clasificación, los principales cambios observados en el uso del suelo y vegetación en el periodo se encontró que un 24.23% de la superficie de la cuenca se encuentra en estado de conservación, un 52.58% se presenta sin cambios, un 5.84% presenta deforestación, se estima un 5.62% en estado de transición, el 3.14% de la superficie está degradada, y el 1.17% se ha modificado por alguna actividad productiva. La superficie de los cuerpos de agua se ha modificado en un 3.83% y el de las áreas urbanas un 3.59% (ver Tabla 7.5).

**Figura 7. 3.** Mapa de cambio de uso de suelo y vegetación en la cuenca en el periodo 2011-2020
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 7. 4.** Clasificación de las leyendas jerárquicas para el cambio de uso de suelo y vegetación

| | |
|---|---|
| **Conservada** | Mide el porcentaje de superficie que no ha sufrido cambio en el periodo de inicio-final (la cobertura vegetal se mantiene). |
| **Sin cambio** | Mide la cantidad de superficie de las zonas donde el uso del suelo correspondía a cultivos, pastizales inducidos y cultivados y otros usos, y que actualmente se mantienen con el mismo tipo de uso. |
| **Deforestada** | Mide la cantidad de superficie que cambió su uso de suelo de formas de vida arbórea (bosques y selvas) a zonas de cultivos, a pastizales inducidos y cultivados o a otro uso como el urbano. |
| **Transición** | Mide la cantidad de superficie donde anteriormente se llevaba alguna actividad agropecuaria (uso de suelo en cultivos o pastizales inducidos y cultivados) y actualmente se encuentra ocupada por bosque, selva, matorral, vegetación hidrófila o pastizales naturales. |
| **Degradada** | Mide la cantidad de superficie que presentó cambio en el uso del suelo, pérdida de cobertura vegetal no arbórea (otros tipos de vegetación, vegetación hidrófila, matorral y pastizales naturales), por pastizales inducidos y cultivados, cultivos u otras coberturas. |
| **Por actividad productiva** | Mide la cantidad de superficie donde anteriormente se presentaba una cobertura de origen antrópico como: pastizales inducidos y cultivados o presentaba algún uso de suelo urbano, o bien formaba parte de un cuerpo de agua, pero actualmente ha cambiado de actividad productiva. |

**Tabla 7. 5.** Cambios observados en el uso de suelo y vegetación en la cuenca en el periodo 2011-2020

| Cambio observado | Superficie km$^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|
| Conservado | 183.04 | 24.23 |
| Sin cambio | 397.17 | 52.58 |
| Deforestado | 44.14 | 5.84 |
| Transición | 42.42 | 5.62 |
| Degradada | 23.75 | 3.14 |
| Por actividad productiva | 8.80 | 1.17 |
| Cuerpos de agua | 28.90 | 3.83 |
| Áreas urbanas | 27.09 | 3.59 |
| **Total** | **755.32** | **100.00** |

**Tabla 7. 6.** Análisis del cambio en el uso de suelo y vegetación en la cuenca para el periodo 2011-2020

| | CATEGORIA | Bosques | Mezquital | Veg. Hidrófila | Agricultura | Pastizal | Sin vegetación | Área urbana | Cuerpo de agua | Total | Perdida de la superficie original |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Año 2011 | Bosques | 178.4 | 0.0 | 0.2 | 34.3 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.3 | **214.5** | **36.2** |
| | Mezquital | 0.0 | 1.1 | 0.0 | 7.8 | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 0.0 | **9.9** | **8.8** |
| | Veg. Hidrófila | 0.0 | 0.3 | 3.5 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.9 | **9.5** | **6.0** |
| | Agricultura | 30.7 | 1.8 | 0.9 | 394.5 | 0.1 | 0.7 | 28.6 | 1.1 | **458.5** | **64.0** |
| | Pastizal | 4.1 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | **7.1** | **7.0** |
| | Sin vegetación | 0.0 | 0.1 | 2.5 | 3.1 | 0.0 | 2.3 | 1.0 | 1.9 | **10.8** | **8.5** |
| | Área urbana | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 16.1 | 0.0 | **18.3** | **2.2** |
| | Cuerpo de agua | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 25.5 | **26.7** | **0.7** |
| | **TOTAL** | **213.4** | **3.3** | **7.3** | **449.9** | **0.2** | **3.0** | **48.5** | **29.7** | **755.3** | |
| | **Incremento de la superficie original a otras coberturas** | 35.0 | 2.2 | 3.8 | 55.4 | 0.1 | 0.8 | 32.4 | 0.6 | | |

El análisis del cambio en el uso de suelo y vegetación en el periodo 2011 a 2020 muestra un cambio importante en la superficie forestada con pino y encino, la cual comprendía 214.53 $km^2$ en el año 2011 y cambió un 16.00% de esta superficie a usos agrícolas y 0.62% en favor del crecimiento urbano. Asimismo, de los 9.91 $km^2$ que comprendía la vegetación de mezquital un 79.09% cambió a usos agrícolas y 8.83% en favor del desarrollo urbano. La superficie original de la vegetación hidrófila de 9.49 $km^2$ cambió un 46.88% a usos agrícolas y 3.34% al desarrollo urbano (ver Tabla 7.6 la superficie está estimada en $km^2$). De acuerdo con el análisis de tendencias de cambio en el uso del suelo y vegetación, los bosques, las áreas de mezquital y la vegetación hidrófila tienen a disminuir debido al crecimiento de la frontera agrícola y urbana (ver Tabla 7.7).

En general, la cuenca ya ha perdido la conectividad entre los bosques y las selvas bajas que antaño había en la región de tal forma que hoy en día las actividades agrícolas y el desarrollo urbano han generado un territorio altamente fragmentado, vulnerando el hábitat de las especies de flora y fauna. Por lo antes mencionado, es importante considerar un plan de manejo y restauración ecológica del ecosistema a fin de recuperar la conectividad entre los ecosistemas de bosque y los islotes de selvas bajas que aún existen en la cuenca a través de corredores ecológicos a fin de enriquecer el paisaje y favorecer la movilidad de las aves y de las especies terrestres propias de la cuenca.

**Tabla 7. 7.** Tendencias de cambio en el uso de suelo en el periodo 2011-2020

| | | Año 2020 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **CATEGORIA** | **Bosques** | **Mezquital** | **Veg. Hidrófila** | **Agricultura** | **Pastizal** | **Sin vegetación** | **Área urbana** | **Cuerpo de agua** |
| **Año 2011** | **Bosques** | 23.6% | 0.0% | 0.0% | 4.5% | 0.0% | 0.0% | 0.2% | 0.0% |
| | **Mezquital** | 0.0% | 0.2% | 0.0% | 1.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.0% |
| | **Veg. Hidrófila** | 0.0% | 0.0% | 0.5% | 0.6% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% |
| | **Agricultura** | 4.1% | 0.2% | 0.1% | 52.2% | 0.0% | 0.1% | 3.8% | 0.2% |
| | **Pastizal** | 0.5% | 0.0% | 0.0% | 0.4% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | **Sin vegetación** | 0.0% | 0.0% | 0.3% | 0.4% | 0.0% | 0.3% | 0.1% | 0.2% |
| | **Área urbana** | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.3% | 0.0% | 0.0% | 2.1% | 0.0% |
| | **Cuerpo de agua** | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 3.4% |

## 7.4. Degradación de los suelos

La degradación de los suelos se refiere fundamentalmente a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados para mantener o mejorar la calidad del aire y agua, y para preservar la salud humana (Oldeman, 1998).

De acuerdo con Krasilnikov et al., (2013), el principal problema de la región de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es el desarrollo de procesos de taludes. Los suelos volcánicos sensu stricto (Andosoles/Andisoles) son menos afectados por la erosión hídrica que otros suelos debido a su alta capacidad de retención de agua, pero la misma propiedad provoca deslizamientos si estos suelos están sobresaturados. Los suelos con arcillas cristalizadas, como Luvisol/Alfisol o Phaeozems/Molisoles, son fácilmente erosionables, y las extensas cárcavas representan un desagradable paisaje común de la región. Los territorios áridos y subáridos, especialmente si existieron cuerpos de agua en los amplios valles, muestran evidencias de salinización y sodificación que causan problemas locales con la producción agrícola.

## 7.5. Riesgo de erosión potencial y real

La erosión es un proceso natural que resulta en una nivelación del relieve (Schütt & Thiemann, 2001). La intensidad de la erosión por agua está determinada por la cantidad de escurrimiento superficial disponible y la energía dada. Los procesos que generan los escurrimientos superficiales determinan el **riesgo potencial de erosión**. Estos procesos dependen de una variedad de factores que interactúan en una relación multidimensional y no lineal (Schütt & Thiemann, 2001).

El **riesgo de erosión actual** se da por las actividades humanas como la agricultura, las cuales afectan los procesos de erosión que luego se resumen en la erosión del suelo. En general, la erosión del suelo muestra una mayor intensidad en comparación con los procesos naturales de erosión. El impacto humano provoca una reducción de la cubierta vegetal natural o incluso la destrucción total (Richter, 1998). Si se reduce la vegetación, la cantidad de

precipitación interceptada y evapotranspirada disminuye y ninguna barrera natural detiene el agua que se mueve hacia abajo. Esto da como resultado una mayor proporción de precipitación que corre sin obstáculos en la superficie pendiente abajo, causando erosión en riachuelos o cárcavas. Esto se agrava si el suelo se compacta por las actividades humanas y animales. La compactación del suelo reduce la tasa de infiltración. El efecto de salpicadura también es mayor si falta la cubierta protectora vegetal, lo que provoca la erosión laminar y aumenta el riesgo de erosión del suelo (Richter, 1998). Sin embargo, pueden surgir efectos positivos de las actividades humanas, como la práctica de medidas de conservación del suelo y el agua (Schütt & Thiemann, 2001).

Es importante comprender estas interacciones del uso de la tierra, la cubierta vegetal y el riesgo de erosión del suelo para prevenir la erosión de este y sus impactos dañinos. Estos se pueden encontrarse no solo en los alrededores inmediatos (daños en el sitio), sino también en áreas aguas abajo de la cuenca (daños fuera del sitio). Esta es una razón importante para abordar los problemas mediante el enfoque de gestión interconectada de cuencas hidrográficas.

### *7.5.1. Erosión potencial en la cuenca*

En la cuenca de la Laguna de Atotonilco se identificaron cinco categorías de procesos erosivos potenciales (ver Tabla 7.8). Debido a que la mayor parte del territorio son planicies que han sido aprovechadas para las actividades agrícolas, la erosión potencia derivada del escurrimiento es prácticamente nula en un 57.36% del territorio dado que el arrastre de sólidos es menor a 5 $Ton^{-1}$ $ha^{-1}$ $año^{-1}$. Una ligera erosión potencial de 5 a 10 $Ton^{-1}$ $ha^{-1}$ $año^{-1}$se presenta en un 12.16% del territorio dominando las zonas bajas de las laderas de las zonas serranas y esta se incrementa hasta un 24.58% con la altitud principalmente al Norte en la Sierra La Primavera y en el Cerro de Santa Cruz de las Flores, al Sureste en el Área Estatal de Protección Hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos, y al Oeste en el Cerro El Timbinal, el cual desciende en sus laderas hasta la formación denominada Isla La Tortuga en su confluencia con la población de Atotonilco el Bajo y la Laguna de Atotonilco. Las zonas con un alto a muy alto riesgo potencial de erosión

se presentan en menos de un 5.91% del territorio concentrándose en las cañadas y zonas de relieve escarpado de las zonas de mayor altitud dentro de la cuenca concentradas principalmente en la Sierra La Primavera y en el Cerro de Santa Cruz de las Flores, al Sureste en el área estatal de protección hidrológica Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos (ver Figura 7.4).

**Figura 7. 4.** Mapa de erosión potencial en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Tabla 7. 8.** Erosión potencial en la cuenca

| Categoría | Clases $Ton^{-1}$ $ha^{-1}$ $año^{-1}$ | Superficie $km^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|---|
| Nula | < 5 | 433.19 | 57.36% |
| Ligera | 5 - 10 | 91.83 | 12.16% |
| Moderado | 10 - 50 | 185.61 | 24.58% |
| Alta | 50- 200 | 42.27 | 5.60% |
| Muy alta | > 200 | 2.32 | 0.31% |
| | **Total** | **755.22** | **100.00%** |

### *7.5.2. Erosión actual en la cuenca*

El riesgo por erosión actual en la cuenca de la Laguna de Atotonilco es nulo a ligera para el 86.85% de la superficie de la cuenca por ser una planicie ocupada principalmente por la agricultura y áreas urbanas. Efectos moderados a muy altos se presentan en 13.14% del territorio, el cual está ocupado por las cañadas, laderas y zonas serranas de la cuenca (ver Tabla 7.9 y Figura 7.5).

**Tabla 7. 9.** Erosión actual en la cuenca

| Categoría | Clases $Ton^{-1}$ $ha^{-1}$ $año^{-1}$ | Superficie $km^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|---|
| Nula | < 5 | 574.18 | 76.02% |
| Ligera | 05-oct | 81.78 | 10.83% |
| Moderado | oct-50 | 92.24 | 12.21% |
| Alta | 50 - 200 | 6.98 | 0.92% |
| Muy alta | > 200 | 0.08 | 0.01% |
| | **Total** | **755.26** | **100.00%** |

**Figura 7. 5.** Mapa de erosión actual en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 7.6. Índice de potencia de flujo

El Índice de Potencia de Flujo (IPF) [en inglés: Stream Power Index (SPI)] es una medida del poder erosivo del agua cuando esta fluye en una cuenca hidrográfica (Wilson, J. P. & Gallant, 2000). El IPF se calcula con base en la pendiente y área de contribución. El IPF aproxima ubicaciones donde es más probable que se formen cárcavas en el paisaje. El IPF se calcula usando la siguiente ecuación (Wilson, J. P. & Gallant, 2000):

$$IPFi = Ln[DAi \cdot tan(Gi)]$$

Donde: *IPF* es el índice de potencia de flujo en la celda *i*, *DA* es el área de drenaje aguas arriba (acumulación de flujo en la celda *i* multiplicada por el área de la celda) y *G* es la pendiente en la celda *i* en radianes (Wilson, J. P. & Gallant, 2000).

Para la cuenca de la Laguna de Atotonilco se identificó que el 56.83% del territorio presenta baja vulnerabilidad a la erosión por flujo de agua, 21.90% de la superficie está expuesta a procesos erosivos hídricos debido a la potencia del escurrimiento de las aguas superficiales, el 18.66% de la superficie se considera de alta vulnerabilidad, y solamente un 2.60% está considerada como de muy alta vulnerabilidad (ver Tabla 7.10). Destacan en estas dos últimas categorías las cañadas, laderas y zonas serranas de la cuenca tal como se muestra en la Figura 7.6.

**Tabla 7. 10.** Índice de potencia de flujo en la cuenca

| Categoría | Clases | Superficie km$^2$ | Porcentaje % |
|---|---|---|---|
| Baja vulnerabilidad | 0 - 0.5 | 429.22 | 56.83% |
| Moderada vulnerabilidad | 0.5 - 1 | 165.44 | 21.90% |
| Alta vulnerabilidad | 1 - 2 | 140.96 | 18.66% |
| Muy alta vulnerabilidad | > 2 | 19.66 | 2.60% |
| | **Total** | **755.28** | **100.00%** |

**Figura 7. 6.** Índice de potencia de flujo en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 7.7 Prospección de azolve de los humedales

De acuerdo con los resultados obtenidos en el índice de potencia de flujo mostrado en la Figura 7.6, la vulnerabilidad de azolve de la laguna debido al arrastre de sedimentos desde las partes altas de la cuenca es baja, esto debido a que la laguna se encuentra ubicada en una planicie que hoy en día está mayormente ocupada por las actividades agrícolas y de pastoreo de ganado. Por lo que durante el periodo de lluvias el escurrimiento hacia la laguna se da en pendientes suaves con un mínimo de arrastre de sólidos. De acuerdo con el estudio de calidad del agua explicado en la sección 6.7, los canales y arroyos que desembocan en la laguna reciben una cantidad importante de aguas residuales de las comunidades asentadas en la cuenca, por lo que se han convertido en los principales tributarios de sólidos que se asientan en las zonas de humedales de la laguna. De ahí la importancia de establecer un programa que dote de infraestructura de saneamiento a las comunidades locales, limpieza de los cauces fluviales y recuperación de las zonas riparias de los canales y arroyos con la finalidad de reducir la carga de sólidos y facilitar el escurrimiento de agua pluvial durante las lluvias.

## 7.8 Fragmentación del paisaje

La conectividad ecológica es una parte esencial de la naturaleza. Es necesario para la funcionalidad de los ecosistemas, es clave para la supervivencia de las especies de plantas y animales silvestres y es crucial para garantizar la diversidad genética y la adaptación al cambio climático en todos los biomas y escalas espaciales (UNEP, 2019).

Es particularmente probable que ocurran cascadas de extinción en paisajes con baja cobertura de vegetación nativa, baja conectividad del paisaje, vegetación nativa degradada y uso intensivo de la tierra en áreas modificadas, especialmente si se pierden especies clave o grupos funcionales completos de especies (Fischer & Lindenmayer, 2007).

Por tanto, la modificación del paisaje y la fragmentación del hábitat son factores que inciden directamente en la pérdida global de especies. Sus

efectos pueden entenderse centrándose en: (1) las especies individuales y los procesos que las amenazan, y (2) los patrones del paisaje percibidos por los humanos y su correlación con las especies y los conjuntos. Las especies individuales pueden disminuir como resultado de amenazas exógenas y endógenas que interactúan, incluida la pérdida de degradación, y aislamiento del hábitat, los cambios en la biología, el comportamiento y las interacciones de las especies, así como amenazas estocásticas adicionales. Patrones de paisajes percibidos por humanos que frecuentemente se correlacionan con los conjuntos de especies incluyen la cantidad y estructura de la vegetación nativa, la prevalencia de bordes antropogénicos, el grado de conectividad del paisaje y la estructura y heterogeneidad de las áreas modificadas.

El ser humano practica diversas actividades socioeconómicas, como la agricultura, ganadería, industrialización y urbanización, que han modificado y alterado los paisajes naturales, caracterizados por la fragmentación de hábitats, siendo esta una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el mundo (Gurrutxaga-San Vicente & Lozano-Valencia, 2012). La fragmentación se presenta como un proceso a escala de paisaje que involucra tanto la pérdida del hábitat como su ruptura (Fahrig, 2003).

Uno de los principales intereses de medir la fragmentación de bosques o selvas naturales es el cambio o reducción del efecto de borde que protege a esa vegetación primaria exacerbado por patrones espaciales residuales (Riitters *et al.*, 2000). Sin embargo, existen muchos métodos que definen y explican los procesos de fragmentación, algunos basados en identificar las causas de la pérdida de la biodiversidad y hábitat, el tamaño y secuencia de los *parches*, así como las formas en cómo se aíslan o transforman dichos fragmentos del paisaje (Shimrah *et al.*, 2022).

Para efectos de este estudio se realizó una breve caracterización y evaluación de las áreas forestales, poniendo énfasis en la extensión y avance de los remanentes boscosos, que implícitamente afectan al ciclo hidrológico y su dinámica de la cuenca, así como evidenciar espacialmente los lugares con esos procesos de fragmentación. Para esto se utilizaron dos métodos comprobados: método basado en el índice de continuidad (forest continuity

index) de Vogelmann (1995) combinado con la tasa de cambio de vegetación y uso de suelo de Palacio-Prieto (2004); y el método de fragmentación forestal propuesto por Riitters et al. (2000) y Moreno et al. (2012).

## 7.9. Índice de continuidad

Para el índice de continuidad se utilizaron las cartas de uso de suelo de dos periodos distintos. El primer episodio obtenido de la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI escala 1:250,000 serie IV, las cuales fueron desarrolladas a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación con imágenes de satélite SPOT de los periodos de primavera de 2007 y hasta primavera 2008 (INEGI, 2009); para el segundo episodio la información se obtuvo del "Estudio Limnológico para la Recuperación de la Laguna de Atotonilco, Jalisco", el cual actualiza a 2020 el uso de suelo y vegetación de la zona de estudio (de Anda-Sánchez *et al.*, 2020). Ambas capas fueron procesadas en el software ArcGIS 10.8 en donde se sobrepusieron para localizar las áreas de vegetación primaria que presentan cambios de uso de suelo. Posteriormente, se extrajeron estas áreas de cambio y se calcularon sus áreas y perímetros de cada polígono, para con esta información realizar el índice de continuidad. El índice se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$FCI = 1n\left(\frac{\sum A}{\sum P}\right)$$

Donde: *FCI* = índice de continuidad, A = área total de *parches* de paisaje, P = perímetro total de *parches* de paisaje.

Para relacionar estos espacios fragmentados con las dinámicas hidrológicas de la cuenca, los resultados fueron sobrepuestos con la capa de densidad de drenaje obtenidos del "Estudio Limnológico para la Recuperación de la Laguna de Atotonilco, Jalisco". Al índice de continuidad fue agregado a un análisis de tasa de cambio de uso de suelo, relacionando la intensidad de

las áreas fragmentadas con los cambios producidos a la cobertura vegetal. Los tipos de cambio obtenidos fueron:

- Conservado: área de vegetación primaria que no ha sufrido cambio en el periodo de estudio.

- Reforestado: superficie recuperada con vegetación primaria (artificial o natural).

- Sin cambio: superficie donde el uso de suelo se mantiene (aplica solo para actividades agropecuarias).

- Sin vegetación: superficie con suelo desnudo.

Los resultados muestran que en la cuenca existen 66 parches, que representan el 7.2 % de la superficie de la cuenca. Estos parches, en su mayoría, se encuentran en los bordes de las áreas con vegetación natural. Como lo menciona Fahrig (2003), son espacios en donde se comienza a fragmentar el paisaje producto de la presión ejercida al interior de las áreas conservadas (ver Figura 7.7). La predominancia de áreas con un alto índice de fragmentación (49.1 $km^2$) indican también una alta dinámica espacio-temporal en los cambios de vegetación y usos de suelo, principalmente en las áreas de vegetación primaria (conservado), ya que en un lapso de 12 años se ha fragmentado cerca de 55 $km^2$ de la cuenca. Este resultado podría tener efectos directos y drástico a la recarga de la cuenca hidrográfica, ya que los espacios fragmentados corresponden predominantemente a sitios con alta densidad de ríos y cuerpos de agua (ver Figura 7.7), en donde además existe la mayor recarga de acuíferos de la zona.

**Figura 7. 7.** Relación Índice de Continuidad vs Densidad de Drenaje
(Fuente: L.A. Olvera-Vargas, 2022, elaboración propia)

Por otro lado, las actividades agropecuarias tienen una amplia extensión en la cuenca, cubriendo cerca de 58 % de la superficie total, además son zonas en donde las actividades económicas ya se llevaban a cabo desde hace más de 12 años. El área definida como conservada es aquella que se reportaba como vegetación natural en 2007-2008 y que sigue predominando actualmente, según el modelo y la cartografía usada. También se reportan pequeñas áreas (< 2 ha) que han sido recuperadas (reforestado) ya sea por procesos naturales o por programas de reforestación (ver Figura 7.8).

**Figura 7. 8.** Fragmentación del paisaje en la cuenca a través del método de índice de continuidad
(Fuente: L.A. Olvera-Vargas, 2022, elaboración propia)

## 7.10. Método de fragmentación forestal

Para obtener la fragmentación forestal se usó la metodología diseñada por Riitters et al., (2000), la cual utiliza ventanas móviles calculadas a partir de la densidad de cobertura vegetal del cuadrante por píxel, en donde el valor de fragmentación es asignado en función de la proporción y adyacencia de las celdas boscosas y no boscosas de la ventana de análisis. Para la implementación de método se usó la extensión ATtlLA para el sistema de información geográfica ArcGIS, el cual diseño Ritters et al., (2000), cargando la cartografía específica del proyecto. La resolución espacial fue de 250 m x 250 m, ya que se usó la cartografía de uso de suelo y vegetación de INEGI escala 1: 250,000 serie IV y la desarrollada en el "Estudio Limnológico para la Recuperación de la Laguna de Atotonilco, Jalisco", actualizada al 2020 en la zona de estudio (de Anda-Sánchez *et al.*, 2020).

Las áreas de bosques y selvas fueron consideradas como un solo elemento, y la ventana de análisis fue de 5 x 5 celdas, valores usados y comprobados por Moreno-Sánchez et al., (2012) para estudios de fragmentación en México. El tipo de fragmentación se determina según su valor y estas corresponden a cinco clases: interior, perforado, borde, transición y parche. Estas clases indican el grado de fragmentación en las que se encuentra solo la vegetación forestal natural, considerando la densidad y la conectividad con celdas vecinas.

Se considera que los *parches* de vegetación son aquellas áreas pequeñas de cobertura forestal desarticuladas espacialmente de otras sin conexión a grandes extensiones de cobertura forestal. Las áreas de *transición* son aquellas áreas de cobertura forestal que están desarticulas mayormente a grandes extensiones de cobertura forestal; sin embargo, en poco porcentaje están articuladas a estas. Las áreas de *borde* son las áreas de cobertura forestal límite entre áreas sin cobertura forestal y grandes extensiones de cobertura forestal. Las áreas *perforadas* son espacios límite entre grandes extensiones de cobertura forestal y pequeñas áreas sin cobertura forestal y, por último, las áreas de *interior* son las grandes extensiones de cobertura forestal (Riitters *et al.*, 2000).

Los resultados muestran que la fragmentación del paisaje predominante es interior, ya que se reporta en cerca de 35 km$^2$ de la cuenca, y corresponden predominantemente en el Bosque de la Primavera y en una pequeña porción Occidente de la cuenca. Las áreas de perforación se pueden encontrar solo en algunos sitios adjuntos a lo más conservado, y son espacios en donde los procesos de deforestación no son tan agresivos. Las áreas bordes, se reportan en casi 20 km$^2$ y estos se encuentran como áreas de amortiguamiento de los espacios conservados. Sin embargo, por sus características y proceso son áreas en donde la deforestación es más constante, y es causada en su mayoría por el crecimiento de la frontera agrícola (Gurrutxaga-San Vicente & Lozano-Valencia, 2012). Estos bordes son evidentes en los piedemontes del Bosque de la Primavera y en la mayor parte de la Sierra de San Agustín, al Oriente de la cuenca. Por otro lado, las áreas de transición se encuentran en pequeñas porciones cercanas a los bordes y perforados, y son probablemente posibles parches en un escenario a corto plazo. Este tipo de fragmentación se reporta en 7.2 km$^2$ de la cuenca. Por último, los parches se encuentran en 2.9 km$^2$ de la cuenca, y se localizan en áreas cercanas o dentro de espacios agropecuarios y zonas urbanas.

Este tipo de fragmentación demuestra que existen áreas con un alto riesgo de sufrir procesos de deforestación y degradación, particularmente en espacios como las áreas naturales protegidas del Bosque La Primavera y el Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos, que forma parte de la Sierra el Madroño y de la Sierra de Agustín. Al interior de la cuenca se pueden observar parches discontinuos que demuestran que los procesos de presión en el cambio de uso de suelo y vegetación llevan décadas de ejecución, además del crecimiento contante de áreas urbanas y espacios recreativos (ver Figura 7.9).

**Figura 7. 9.** Escenario de fragmentación forestal en la cuenca
(Fuente: L.A. Olvera-Vargas, 2022, elaboración propia)

Las diferencias en los métodos usados para la identificación de áreas fragmentadas fueron heterogéneas en la superficie modelada, ya que el índice de continuidad calculó cerca de 55 km$^2$ y el método de fragmentación forestal, 71.2 km$^2$, sin embargo, espacialmente la ubicación de las áreas que

sufren procesos de fragmentación coinciden en ambos modelos, lo que puede llegar a indicar que son áreas susceptibles a la pérdida de cobertura natural y cambio de uso de suelo, lo que implicaría también un daño directo a los procesos de ciclo hidrológicos de la cuenca.

Los mapas de las Figura 7.8 y 9.9 permiten visualizar las áreas de oportunidad que hay en la cuenca para generar planes de conectividad ecológica entre las áreas forestales entre sí y entre las áreas forestales, las selvas bajas y la laguna a fin de generar corredores ecológicos para la conservación de la biodiversidad de la cuenca. En este contexto, la recuperación de las zonas riparias de los canales y arroyos de la cuenca juegan un papel primordial ya que son zonas de jurisdicción federal que permiten de forma natural recuperar la conectividad entre los biotopos que conforman los diversos hábitats de la cuenca.

## 7.11. Peligros naturales

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2019), los **peligros naturales** son fenómenos meteorológicos y climáticos severos y extremos que se producen en todo el mundo, si bien algunas regiones son más vulnerables a ciertos peligros que otras. Los peligros naturales se convierten en desastres cuando destruyen vidas humanas y los medios de subsistencia.

Una definición ampliamente aceptada caracteriza a las **amenazas naturales** como: "aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él" (OEA, 1991). En este contexto, el término *amenazas naturales* se refiere específicamente a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) y a los incendios que, por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades. La calificación de *natural* excluye a todos los fenómenos causados exclusivamente por el hombre, tales como las guerras y la contaminación. Tampoco se consideran amenazas que no estén necesariamente relacionadas con la estructura y función de los ecosistemas como, por ejemplo, las infecciones (OEA, 1991).

Las crecidas pueden producirse en todo lugar tras intensas precipitaciones. Todas las llanuras inundables son vulnerables, y las intensas lluvias y tormentas pueden causar crecidas repentinas en cualquier parte del mundo. Las crecidas repentinas pueden ocurrir también tras un periodo de sequía, cuando lluvias intensas o moderadas caen sobre terrenos muy secos y endurecidos que el agua no puede infiltrar. Las crecidas se presentan bajo distintas formas, desde las pequeñas crecidas repentinas hasta las inundaciones que cubren extensas áreas de tierra. Pueden tener su origen en tormentas muy intensas, ciclones tropicales, grandes sistemas de baja presión, monzones, obstrucciones de hielo o nieve en fusión. En las zonas costeras, las mareas de tempestad causadas por ciclones tropicales, tsunamis o ríos crecidos por efecto de mareas excepcionalmente altas pueden también causar inundaciones. Los diques y embarcamientos pueden desbordarse cuando los ríos que afluyen a ellos transportan grandes cantidades de nieve en fusión. La rotura de embalses o las operaciones bruscas de regulación del flujo, como la descarga de agua para generar electricidad, pueden también ocasionar crecidas catastróficas. Las crecidas ponen en peligro las vidas humanas y los bienes en todas partes del mundo. En el último decenio del siglo XX resultaron afectados por crecidas en torno a 1,500 millones de personas (OMM, 2019).

Las descargas eléctricas o las actividades humanas pueden provocar incendios masivos y devastadores durante y después de períodos de sequía en todas partes del mundo. Esos incendios destruyen bosques, praderas y cultivos, y matan ganado y animales silvestres, dañan o destruyen asentamientos y ponen en riesgo la vida de sus habitantes (OMM, 2019).

De acuerdo con el conocimiento que se tiene sobre los procesos naturales de la cuenca discutidos en el Capítulo 1 de este documento, se seleccionaron dos eventos que mayormente representan amenazas naturales que pueden trascender en un desastre para las comunidades asentadas en la cuenca: inundación e incendios forestales.

Para prevenir los desastres de forma eficaz, resulta esencial comprender la interacción entre riesgos, exposición y vulnerabilidad. La evaluación de riesgos es, por tanto, una actividad fundamental dentro de las labores de reducción del riesgo de desastres (PNUD, 2010).

Para la construcción del mapa de zonas de riesgos de inundación se conjuntaron las capas de precipitación máxima en 24 horas, la permeabilidad del suelo y la densidad de drenaje en la cuenca; el resultado es el mapa mostrado en la Figura 7.10[A]. Para la construcción del mapa de riesgos de incendio se muestra en la Figura 7.10[B]. En la Figura 7.11 se muestra el mapa integrado de riesgos naturales y su evaluación tanto las zonas de inundación como las de riesgo por incendios.

## 7.12. Modelo de cambio climático

En la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente) se definió al cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural observada durante periodos de tiempo comparables. Sus efectos son considerables en sectores productivos y en el medio ambiente, ya que estos son altamente dependientes del clima y, por tanto, vulnerables a cualquier variación climática. En 2018 el Panel Intergubernamental de Cambio Climáticos (IPCC) público un informe especial sobre los impactos del calentamiento global a mediano y largo plazo, modelando incrementos en la temperatura global de entre 1.5 y 2°C, lo que traería consecuencias ambientales de tipo catastróficos. En estos posibles incrementos en la temperatura, los efectos negativos serían sobre todos los tipos de vegetación, sea producto de actividades agropecuarias o forestales, particularmente en el desarrollo vegetativo provocaría la proliferación de plagas y malezas, así como la aparición o reemergencia de enfermedades. Por otro lado, se registrarían eventos extremos como sequías, heladas e inundaciones, las cuales afectarían directamente al ciclo hidrológico y a la conservación de los ecosistemas, así como daños económicos en las actividades económicas del campo (FAO, 2012).

**Figura 7. 10.** Mapas de identificación de las zonas de riesgo por inundación [A] y riesgo de incendio [B] en la cuenca (Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Figura 7. 11.** Mapa de riesgos naturales en la cuenca
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

México, por sus características geográficas, es uno de los países más vulnerables al cambio y variabilidad climática, diversas estimaciones predicen que entre el 50 y 70% de las condiciones de temperatura y precipitación

cambiaran en el país (Álvarez & Blanco, 2016). La complejidad de relieve, el sistema de agua y la extensión territorial de México dificultan el análisis de cambio climático, por ello resulta pertinente realizar estudios de riesgo y vulnerabilidad climática a nivel cuenca hidrográfica (Cotler, 2010).

Las proyecciones climáticas se producen por medio de representaciones matemáticas del sistema climático de la tierra, a través de Modelos de Circulación General, estos modelos vinculan una representación tridimensional del océano con la atmósfera y cuentan con diferentes resoluciones espaciales (desde 30 segundos a 5 grados). Los modelos se realizan con base en la simulación del efecto invernadero ampliado, mediante el aumento gradual del forzamiento radiactivo equivalente a las concentraciones históricas de los GEI (Gases de Efecto Invernadero) y diversos aerosoles, además se incluyen condiciones económicas actuales que produzcan el aumento de las emisiones de GEI (Fernandez-Eguiarte *et al.*, 2014). Existen diversos modelos como BCC-CSM1, CAnESM, MIROC-ES2L, GFDL-ESM4, entre otros muchos. Todos estos modelos no son pronósticos climáticos, ya que cada modelo genera una alternativa de cómo puede comportarse el clima en un futuro (horizontes) cercano, intermedio o lejano.

Para este análisis se usó información del modelo de circulación global GFDL-CM3 (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*) modificado por Fernandez-Eguiarte et al. (2014) para precipitación y temperatura promedio. La resolución de la información rasterizada fue de 1 km x 1 km, y se seleccionó solo el horizonte lejano a 2075-2099 para ambas variables climáticas. Como cartografía de referencia se usaron las variables de precipitación y temperatura actual, descargados de las capas de información de *worldclim* con la misma resolución espacial. Las variables actuales y los modelos predictivos se procesaron a través de la calculadora ráster en ArcGIS 10.8 para obtener la diferencia entre ambas épocas. En el caso de la variable precipitación, se sumó la precipitación mensual para ambos escenarios (actual y futuro) para obtener la diferencia de precipitación anual.

Como resultado para la variable de temperatura en la cuenca de estudio existen anomalías positivas de la temperatura media de hasta 4° C respecto a

la temperatura media que actualmente se registra en la misma área. La parte Occidente, desde el Bosque de la Primavera hasta el de San Agustín, serían los lugares con mayores anomalías. Esto coincide con lo mencionado por Álvarez y Blanco (2016) quienes señalan que las áreas naturales serán las que mayor impacto tendrían debido a la presión y a los constantes cambios de uso de suelo. Por otra parte, las áreas agrícolas del centro de la cuenca esperan anomalías de hasta 2.7° C al escenario 2075-2099. Estas diferencias en las anomalías de temperaturas proyectadas se pueden deber a que en las áreas agrícolas existe mayor variabilidad interanual, ya que estas áreas tienen más de 20-30 años teniendo el mismo uso de suelo, caso contrario en las áreas forestales, en donde la variabilidad interanual es menor. Estas anomalías rebasan por mucho las estimaciones hechas en los pronósticos del IPCC, no obstante, las proyecciones estiman incrementos en la temperatura global de entre 1.5° y 2°, escenarios como los que podrían suceder en la cuenca afectarían a todas las actividades productivas y a los ecosistemas presentes (ver Figura 7.12).

Para el caso de precipitación, destaca la magnitud en la reducción de la cantidad de lluvia anual al escenario lejano, teniendo como máximo hasta 203 mm menos precipitación que lo que actualmente se reporta (aproximadamente 792.50 mm en promedio para toda la cuenca) (ver Figura 7.13). Estas anomalías en la precipitación también afectarán a las áreas naturales, particularmente en el Bosque de la Primavera, mientras que en áreas cercanas a la Laguna de Atotonilco la anomalía de precipitación anual será menor pero no menos grave. En porcentajes, las proyecciones estiman una disminución de la precipitación de entre 15 a 25% en los próximos 80 años.

Con estas proyecciones se pueden estimar los niveles de riesgo que podrían suceder en la cuenca, así como el grado de vulnerabilidad actual y futura de estos sistemas. Las áreas de especial atención serán aquellas que presentan una combinación extrema de impacto por incremento en las anomalías de temperatura y la disminución de la precipitación. La posible disminución de la precipitación anual de 15 a 25 % traerá graves consecuencias hidrológicas en la cuenca, desde la disponibilidad hasta la calidad y cantidad del recurso.

**Figura 7. 12.** Anomalías de temperatura al 2075-2099 usando el modelo GFDL de cambio climático
(Fuente: L.A. Olvera-Vargas, 2022, elaboración propia)

**Figura 7. 13.** Anomalías de precipitación al 2075-2099 usando el modelo GFDL de cambio climático
(Fuente: L.A. Olvera-Vargas, 2022, elaboración propia)

# Capítulo 8

## Gestión de los recursos naturales

José de Anda Sánchez[1]
Demetrio Meza Rodriguez[2]

1 Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C.
2 Departamento de Ecología y Recursos Naturales y Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara.

## 8.1. Marco legal para la gestión de los recursos naturales

Los instrumentos que determinan las estrategias de conservación y uso de las áreas naturales protegidas a nivel mundial se han conceptualizado como planes o programas de manejo, programas de conservación, programas de conservación y manejo, planes rectores, planes directores, etc. En México estos instrumentos se denominaban planes de manejo, programas de trabajo, programas integrales de desarrollo, programas operativos anuales y/o programas de conservación y manejo (CONANP, 2018).

Con la publicación en 1988 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en la cual se mencionan como programas de manejo y en la modificación de 1996 de la misma se enuncian, en su artículo 65, como programa de manejo. En el Reglamento en materia de ANP del 2000 en su artículo 3°, Fracción XI se define el programa de manejo como el instrumento rector de planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo y la administración del área natural protegida respectiva (CONANP, 2018).

En el estado de Jalisco están registradas cinco áreas naturales protegidas (ANP): el Bosque La Primavera, la Sierra del Águila, el Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos, el Bosque Mesófilo Nevado de Colima y el estero El Salado (CONACYT, 2019; SEMARNAT, 2019) (ver Tabla 8.1). Destaca que una parte del territorio de la cuenca en estudio cubre una parte de los límites geográficos de estas dos áreas: el Bosque La Primavera y el Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos (ver Figura 2.1).

Además de las áreas estatales de protección hidrológica mencionadas anteriormente, en el estado de Jalisco fue establecida, por decreto del Ejecutivo Federal en marzo de 1987, la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán con el fin de proteger la diversidad biológica y promover el uso sostenible de los recursos naturales de esta zona montañosa ubicada hacia el Sur de Jalisco y el Noroeste de Colima. A diferencia de un área natural protegida, una reserva de la biosfera no está dedicada 100% a la conservación, sino que abarca un territorio más amplio donde el hombre pueda habitar y realizar actividades económicas bajo determinados parámetros (SEMARNAT, 2018).

**Tabla 8. 1.** Áreas Naturales Protegidas en el estado de Jalisco

| Nombre del área natural protegida | Categoría | Fecha de publicación de la Declaratoria | Municipios | Superficie ha |
|---|---|---|---|---|
| Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos | Área Estatal de Protección Hidrológica | 18 de mayo de 2013 | Chapala, Ixtlahuacán de los Membrillos, Jocotepec y Tlajomulco de Zúñiga | 23,176.97 |
| Sierra del Águila | Área Estatal de Protección Hidrológica | 16 de febrero de 2010 | Etzatlán, Ameca, Ahualulco de Mercado y San Juanito de Escobedo | 20,746.37 |
| Bosque Mesófilo Nevado de Colima | Parque Estatal | 11 de julio de 2009 | San Gabriel, Tuxpan, Zapotitlán de Vadillo y Zapotlán El Grande | 7,213.04 |
| El Salado | Zona de conservación ecológica | 27 de julio de 2000 | Puerto Vallarta | ~135,000.00 |
| La Primavera | Área de Protección de Flora y Fauna | 6 de marzo de 1980 | Tala, Zapopan, El Arenal y Tlajomulco de Zúñiga | 30,500.00 |

## 8.2. Declaratoria del sitio Ramsar

La Laguna de Atotonilco fue designada sitio Ramsar el 16 de marzo de 2006 con el número 1607; el área que cubre este sitio Ramsar es de 2,850 ha (SEMADET, 2005) (ver Figura 8.1). En ella se encuentra bien representada la biodiversidad típica de los humedales continentales del Occidente de nuestro país, los cuales constituyen el hábitat para una amplia diversidad de aves endémicas y migratorias que llegan a esta zona (SEMADET, 2009).

La declaratoria del sitio Ramsar Laguna de Atotonilco fue la tercera en el estado de Jalisco, anterior le sucedieron la Laguna de Sayula en el año 2004, la Laguna de Zapotlán en el año 2005 y, posteriormente, la de Atotonilco; la iniciativa surgió del interés de establecer protección a los humedales ubicados en la región Sur del estado y a la necesidad compartida por los anteriores sitios mencionados en virtud de la estrecha relación geológica, biológica y social de las subcuencas involucradas.

Las gestiones se llevaron a cabo bajo la coordinación en aquel momento de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Gobierno del Estado de Jalisco (SEMADES) con la participación de la Universidad de Guadalajara a través del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA); así como del apoyo de otras dependencias pertenecientes al Comité Estatal para el Estudio y Conservación de los Humedales del estado de Jalisco.

Por tal motivo en el sitio se han desarrollado diversas acciones para promover su estudio, protección y conservación. Por ejemplo, la Asociación Civil "Salvemos el Lago, A. C.", a través de gestiones ante el Municipio de Villa Corona y la SEDER Jalisco, promueve la limpieza y rehabilitación de canales abastecedores del laguna.

**Figura 8. 1.** Límites geográficos del sitio Ramsar
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

A partir del 2001 logra su incorporación como miembro asociado de los organismos internacionales *Global Nature Fund y Living Lakes*, oficializando con la Universidad de Guadalajara y la participación de la sociedad "Amigos del Lago de Chapala A. C." un convenio de trabajo y apoyo para obtener su reconocimiento como lago asociado en el año 2005. Con ello se permite que actualmente se manejan programas de reforestación, control de malezas acuáticas y el involucramiento de los municipios e instituciones educativas y productivas.

La Universidad de Guadalajara ha promovido y ejecutado diversas acciones y programas para la gestión de la conservación y manejo sustentable de la laguna. Para tales fines, y desde el año de 2001, se realizan investigaciones encaminadas al Ordenamiento Ecológico de la cuenca de la Laguna de Atotonilco, así como para su rehabilitación y restauración.

La Laguna de Atotonilco fue considerada un tipo de humedal continental por la Convención de Ramsar en virtud de que se encuentran dos especies tanto de anfibios como de reptiles bajo alguna de las categorías de protección de la NOM-059-SEMARNAT-2001 y NOM-059-SEMARNAT-2010; además, dos especies de peces y una de las especies de anfibio se encuentran en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2020) como vulnerable, amenazada y en peligro de extinción. Una especie de mamífero se encuentra en el Apéndice III de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2020). También cumple con las características de temperatura, presión y flora, propicias para el desove y desarrollo de peces. Dadas sus características de humedal continental, se reúnen los elementos propicios para el anidamiento y desove de distintas especies de peces, así como para el refugio de aves residentes y migratorias.

Recientemente se han emprendido acciones para extender el marco legal de protección de la Laguna de Atotonilco como un área natural protegida de acuerdo con las Reglas de Operación del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES) (DOF, 2019b).

## 8.3. Conflictos derivados de la sobreexplotación de los recursos

Algunos de los conflictos que se han identificado derivado de la sobreexplotación de los recursos de la cuenca se pueden mencionar (J. Cortés Aguilar, comunicación personal, 13 de enero de 2022):

a) Azolve de canales para aprovechamiento de terrenos para la agricultura (ver Figura 8.2).

b) Inundaciones en las planicies de la cuenca ocupadas por tierras agrícolas derivado del azolve de canales.

c) Invasión de áreas federales en los márgenes de los canales y en la zona ribereña de la laguna (ver Figura 8.3).

d) Concesiones que ha otorgado la CONAGUA que afectan los hábitats de las especies nativas y migratorias.

e) Cambios de usos de suelo en las zonas de bosque en favor de actividades agrícolas en donde predomina el cultivo de agave en los últimos años (ver Figura 8.4).

f) Se tienen problemas de seguridad por robo de ganado.

g) Uso intensivo de plaguicidas en la agricultura en la producción de berries y agave (ver Figura 8.5).

**Figura 8. 2.** Trabajos de desazolve de canales de la Laguna de Atotonilco
(Fuente: J. de Anda-Sánchez, 2021, elaboración propia)

**Figura 8. 3.** Invasión de las áreas federales en los márgenes de la zona ribereña de la Laguna de Atotonilco
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

**Figura 8. 4.** Plantaciones de agave en terrenos colindantes con la ribera Oeste de la Laguna de Atotonilco
(Fuente: J. de Anda-Sánchez, 2021, elaboración propia)

**Figura 8. 5.** Uso intensivo de plaguicidas para la agricultura la cuenca de la Laguna
(Fuente: D. Meza-Rodríguez, 2021, elaboración propia)

## 8.4. Régimen de tenencia de la tierra

Los ejidos y las comunidades agrarias son las formas de tenencia de la tierra que mayor superficie abarcan en México. En estos espacios se produce gran parte de los alimentos que se consumen en el país, además de ser el contenedor de la mayor parte de áreas forestales, manglares, costas, agua, minas y atractivos turísticos. Además, están cuidadas en su mayoría por comunidades y ejidos indígenas, los cuales brindan invaluables servicios ambientales de conservación de la biodiversidad, captura de carbono y recarga de acuíferos (Morett-Sánchez & Cosío-Ruiz, 2017).

En México existen más de 30,000 núcleos agrarios, de los cuáles 93.4 % son ejidos y 6.6 % son comunidades, el resto es propiedad federal o privada. Según indicadores del Registro Agrario Nacional, 792 ejidos y comunidades están en alguna de las 182 ANP federal. En el caso de Jalisco, existen 1405 núcleos agrarios que ocupan el 32 % del territorio del estado.

En la cuenca de Atotonilco existen 46 ejidos y una comunidad que ocupan el 59.6 % de la superficie total de la cuenca (ver Figura 8.6). Los ejidos más grandes son Zapotitán de Hidalgo, Bellavista, Navajas, San Isidro de Mazatepec y Atotonilco El Bajo. Del total del área de los ejidos, el 27 % está destinado al uso común, es decir, estas constituyen el sustento económico de la vida en comunidad del ejido y están conformadas por aquellas tierras que no hubieren sido especialmente reservadas por la asamblea para el asentamiento del núcleo de población ni tierras parceladas.

**Figura 8. 6.** Régimen de tenencia de la tierra en la cuenca
(Fuente: L.A. Olvera-Vargas, 2022, elaboración propia)

## 8.5. Estrategias para la recuperación de la laguna

En los últimos años ha aumentado el interés por la restauración y protección de humedales a escala de cuencas hidrográficas (EPA, 2021). Los investigadores en restauración de humedales han reconocido cada vez más que, en primer lugar, deben planificar la recuperación de una gran cantidad de humedales degradados o perdidos durante el último siglo; y segundo, la restauración de humedales es más eficiente si se considera a escala de paisaje (Comín *et al.*, 2014). En este contexto, el paisaje comprende a la parte de la superficie de la Tierra que se puede ver al mismo tiempo desde un lugar y consiste en los accidentes geográficos que marcan o son característicos de un área en particular. Un paisaje natural está formado por una colección de accidentes geográficos, como montañas, colinas, llanuras y mesetas (NG, 2021). Por otra parte, la *Society for Ecological Restoration* define como restauración ecológica el "ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido" (SER, 2021). La restauración de humedales se ha practicado en diferentes partes del mundo a diferentes escalas, desde pequeñas a grandes cuencas hidrográficas. De hecho, se ha propuesto la restauración de humedales a escala de paisaje como el enfoque más eficaz para mejorar la calidad del agua dentro de las cuencas hidrográficas (Comín *et al.*, 2014).

La experiencia en los procesos de restauración ecológica de humedales en los últimos años muestra que se necesita más que mejorar la cantidad y calidad del agua para restaurar un humedal. En la actualidad los científicos están documentando cómo el entorno del paisaje, el tipo de hábitat, el régimen hidrológico, las propiedades del suelo, la topografía, las fuentes de nutrientes, la perturbación de los regímenes hidrológicos, las especies invasoras, los cambios en el uso del suelo y la biodiversidad en declive pueden limitar el proceso de restauración. Aunque muchos resultados pueden explicarse *post hoc*, aún se tiene poca capacidad para predecir el camino que seguirán los sitios cuando se restauren de maneras alternativas, y no existe evidencia de que se cumplirán objetivos específicos (Zedler, 2000). Para volverse predictivos, ahora se están desarrollando enfoques más audaces,

que se basan más en la experimentación de campo en múltiples escalas espaciales y temporales, y en muchos contextos de restauración (Zedler, 2000).

Uno de los principales desafíos ambientales para el desarrollo agrícola es aumentar la producción y disminuir los impactos de los contaminantes en la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos. Se ha sugerido la restauración y creación de humedales a escala de cuencas hidrográficas como una estrategia general para un desarrollo agrícola sostenible, amortiguando los impactos de contaminantes de fuentes no puntuales en los ecosistemas acuáticos. En este sentido, son relevantes las buenas prácticas en la agricultura para el control de los tiempos y cantidad de los agroquímicos a dosificar en el suelo. Luego, la integración de la restauración y creación de humedales en los usos sostenibles del suelo y la planificación de la cobertura terrestre permite recuperar los servicios de los ecosistemas y los beneficios económicos que proporcionan los humedales a escala de cuencas (Comín *et al.*, 2014). Sin embargo, es difícil obtener una guía simple y única para planificar la restauración y protección de humedales a escala de cuencas porque las cuencas hidrográficas y los usos del suelo y el agua difieren enormemente entre regiones y sociedades.

Se sugirió un enfoque de paisaje que analiza las relaciones entre el paisaje, los humedales y las características de la cuenca como un enfoque general para establecer prioridades de restauración a escala de la cuenca. Este enfoque se utilizó para seleccionar sitios apropiados para recuperar las funciones ambientales de la Laguna de Atotonilco. Otro enfoque paisajístico, que relaciona el uso del suelo y las características morfológicas de las redes fluviales con los datos de calidad del agua, se utilizó para analizar las relaciones entre las características de la laguna y las características particulares de la calidad del agua, como la remoción de fósforo y la reducción de las altas concentraciones de bacterias patógenas.

## 8.6. Plan general de recuperación ambiental de la laguna

A fin de desarrollar una estrategia integral de recuperación de la Laguna de Atotonilco, esta se deberá establecer considerando la recuperación de los cauces y saneamiento de los afluentes que descargan en la laguna. Cabe aclarar que la estra-

tegia integral de recuperación de la laguna difiere de un proyecto de restauración dado que no se pretende como objetivo el implementar proyectos que logren, a través del tiempo, el regresar a alguno de los estadios históricos en los cuales la laguna contaba con funciones y servicios ecosistémicos que se han ido perdiendo debido al proceso de antropización de la cuenca, tales como los cambios sucesivos en el uso del suelo y la vegetación en favor de la agricultura y el desarrollo urbano derivado del crecimiento de la población en la cuenca. Es por ello por lo que la aspiración de la estrategia deberá ser el lograr la recuperación del ecosistema entendido de acuerdo con la descripción conceptual que se muestra en la Figura 8.7.

**Figura 8. 7.** Conceptualización de la recuperación de un ecosistema degradado y actividades relacionadas
(Fuente: adaptado de Wheaton, 2005)

La metodología comprende cuatro etapas para el desarrollo de la estrategia de recuperación de la laguna:

a) Evaluación ambiental y diagnóstico,

b) Establecer objetivos y metas,

c) Priorización de zonas para intervención,

d) Identificación y selección de los proyectos prioritarios de intervención.

El alcance del proyecto no contempla la implementación de los proyectos identificados como prioritarios ni la fase de evaluación de resultados (descripción del recuadro en color azul mostrada en la Figura 8.8).

**Figura 8. 8.** Metodología para el desarrollo de una Estrategia de Recuperación de la Laguna de Atotonilco (Fuente: adaptado de González del Tánago & García de Jalón, 2017)

La primera etapa comprende la evaluación y diagnóstico de la situación ambiental de la Laguna de Atotonilco. En esta etapa es fundamental una base sobre la problemática de la cuenca en sus aspectos sociales, económicos y ambientales. El Sistema de Información Geográfico (SIG) es una herramienta fundamental para conocer las condiciones hidromorfológicas de la laguna y sus afluentes, incluidas las zonas ribereñas, para identificar las principales presiones e impactos, los procesos en la laguna y su cuenca, establecer la situación de salud de la laguna y los servicios ambientales que esta genera. Con esta información será posible definir las prioridades y estrategias para la recuperación de la laguna y la propuesta de proyectos prioritarios para su recuperación.

En esta etapa deberá hacer uso de la metodología de La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) (2003) para identificar los indicadores de presión, estado y respuesta la cuenca lacustre. La metodología para la propuesta de indicadores deberá ser consistente con la Guía Metodológica para Desarrollar Indicadores Ambientales y de Desarrollo Sostenible en países de América Latina y el Caribe (Quiroga-Martínez, 2009). Asimismo, los indicadores que se propongan deberán estar acordes con la Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible (ILAC, 2012). Los indicadores deberán ser cuantificados y priorizados. Los resultados se deberán presentar en mapas que faciliten la visualización espacial de las áreas mayormente comprometidas en cada subcuenca y en la cuenca en su conjunto.

Siguiendo los principios de Speed et al. (2013) para la planificación de los recursos hídricos de una cuenca, el marco conceptual para la recuperación de la Laguna de Atotonilco puede dividirse en siete componentes (ver Figura 8.9) (Speed *et al.*, 2016a, 2016b). Los primeros cuatro componentes se relacionan con el contexto de la cuenca. Estos componentes se abordan principalmente en el proceso de planificación a través de la evaluación de la situación. Los tres últimos se relacionan con la respuesta de recuperación, que implica desarrollar e implementar una estrategia de recuperación. Para cada componente el marco identifica una pregunta fundamental. Estas son las preguntas centrales para considerar al desarrollar un enfoque estratégico para la recuperación del ecosistema (Speed *et al.*, 2016b).

El primer componente del marco se relaciona con los factores externos. Estos son factores que influyen en los procesos naturales de la laguna. Incluyen el desarrollo humano, como la agricultura, la urbanización u otros cambios en el uso del suelo y la vegetación, que pueden provocar cambios físicos en el ecosistema. El cambio climático es otro impulsor, con vínculos tanto con el desarrollo humano como con el ciclo hidrológico. También es importante visualizar cómo es probable que estos controladores evolucionen con el tiempo, o qué nuevos controladores se espera que surjan. La pregunta clave aquí es: ¿Cuáles son las influencias clave en el ecosistema de la laguna? (Speed *et al.*, 2016b).

El segundo componente se relaciona con los procesos de captación que afectan la condición y función del ecosistema de la laguna. Estos incluyen procesos hidrológicos, ciclos de nutrientes, procesos geomorfológicos como la erosión del paisaje y el movimiento de sedimentos, el movimiento de energía a través de la cuenca y procesos biológicos. La recuperación debe llevarse a cabo con una comprensión de cómo estos procesos impulsan y/o constituyen el ecosistema de la laguna, cómo interactúan entre sí y las implicaciones de los cambios en esos procesos, en última instancia, con el fin de establecer un equilibrio apropiado entre estos. La pregunta clave aquí es: ¿Cómo funciona el ecosistema de la laguna? (Speed *et al.*, 2016b).

**Figura 8. 9.** El marco para la recuperación estratégica de la Laguna de Atotonilco (Fuente: adaptado de Speed *et al.*, 2016)

La recuperación del vaso lacustre también requiere una comprensión de los elementos que componen el ecosistema de la laguna (tercer componente). Esto forma la línea base para la toma de decisiones, el establecimiento de objetivos específicos y medibles y el seguimiento de los resultados. La salud e integridad de la laguna pueden considerarse en términos del régimen de flujo, la calidad del agua, la forma física (morfología de la laguna, distribución de sus humedales y de las llanuras de inundación que crean el hábitat) y la biota. Además de comprender la salud de la laguna en un momento dado, puede ser crítico identificar tendencias en la salud de la laguna, como cualquier cambio que haya ocurrido en la calidad del agua o en la biota, cómo dichos cambios pueden afectar otros aspectos del sistema lacustre y cómo se espera que la salud de la laguna cambie en el futuro. La pregunta clave aquí es: ¿Cuál es la condición del ecosistema de la laguna? (Speed *et al.*, 2016b).

El concepto central de la restauración estratégica de una laguna es el reconocimiento de los beneficios que la esta brinda a las personas y a la naturaleza (cuarto componente). Esto implica comprender el papel de la laguna, tanto en el entorno natural como en el apoyo a la sociedad humana. Comprender la capacidad de una laguna para proporcionar servicios ecosistémicos, así como su papel en el mantenimiento de la salud ecológica, es esencial para apoyar la toma de decisiones. Con esta información es posible considerar qué beneficios se derivan actualmente de la laguna, quién se beneficia, qué beneficios se han perdido o están amenazados como resultado de los cambios dentro de la cuenca, y cuál es el potencial para mejorar los servicios en caso de que mejore la salud de la laguna y la función relacionada. La pregunta clave aquí es: ¿qué proporciona el ecosistema de la laguna? (Speed *et al.*, 2016b).

El contexto de la cuenca debe informar el proceso de toma de decisiones en torno a la respuesta de restauración de la laguna. Primero, esto permite tomar decisiones sobre las prioridades: determinar en qué medida el proceso de recuperación debe orientarse hacia objetivos y resultados relacionados con la conservación y la protección, el desarrollo económico, los beneficios sociales y culturales y la seguridad hídrica (quinto componente). Estas decisiones deben ser informadas por una combinación de objetivos ambientales, sociales y de desarrollo y por el alcance del sistema lacustre para satisfacer esas necesidades, en función de la condición existente del sistema lacustre, así como los impulsores actuales o futuros del cambio. La pregunta clave aquí es: ¿Qué estado ecosistémico o ambiental queremos para la Laguna de Atotonilco? (Speed *et al.*, 2016b).

La priorización de objetivos es fundamentalmente una cuestión estratégica y necesariamente implicará al menos algunas decisiones en el ámbito político. Por el contrario, evaluar qué medidas o acciones tomar es principalmente un proceso técnico que se basa en varias herramientas (a su vez basadas en las ciencias biofísicas y sociales) para identificar el mejor enfoque para lograr los objetivos estratégicos de la cuenca (sexto componente). Esto requiere considerar los costos y beneficios asociados con las diferentes estrategias

de recuperación, qué medidas son factibles, qué nivel de apoyo de las partes interesadas existe para diferentes medidas y cuál es la escala apropiada para llevar a cabo la recuperación. La pregunta clave aquí es: ¿Cuál es la mejor manera de recuperar el ecosistema de la laguna? (Speed *et al.*, 2016b).

Finalmente, el séptimo componente del marco se relaciona con la implementación. Además de las acciones que dan efecto a la estrategia de recuperación, este componente incorpora los aspectos de gestión adaptativa y de capacidad adaptativa en la recuperación de la laguna. Las medidas de recuperación y sus impactos deben ser monitoreados y evaluados para determinar si las suposiciones sobre cómo respondería el ecosistema lacustre eran correctas, o si es necesario realizar cambios en el enfoque. La pregunta clave aquí es: ¿Funciona la estrategia? (Speed *et al.*, 2016b).

En un estudio elaborado para la SEDER (2019) se proponen ocho recomendaciones que se mencionan a continuación:

1. Se requiere el estudio topo-batimétrico de detalle, que permita realizar el balance hidráulico real de la laguna e incluso de la cuenca de aportación. Ello permitirá identificar la frecuencia de llenado alto, medio y bajo, según sus aportaciones.

2. Actualización de los estudios hidrológicos de detalle que permitan establecer series estadísticas a nivel mensual para realizar funcionamientos o simulación del comportamiento del vaso y por ende de los niveles de la laguna, bajo los siguientes escenarios.

3. La condición natural de funcionamiento hidrológico de la cuenca valorando la posibilidad de recuperar volúmenes de agua, ya sea mediante la tecnificación y mayor eficiencia del uso del agua en toda la cuenca o bien mediante la adquisición de derechos de agua valorando los costos económicos.

4. Análisis hidrológicos de las cuencas externas a la cuenca propia de la Laguna de Villa Corona (cuenca río Ameca, cuencas Área Metropolitana de Guadalajara, presas existentes) a efecto de determinar si existe agua disponible que permita aumentar las aportaciones a la laguna, y si es el caso, valoración económica de los requerimientos de inversión para tal escenario.

5. Demarcación de las zonas federales de la cuenca, mínimo de la propia laguna, a fin de iniciar el ordenamiento y rescate de la laguna. Esto Implica determinación hidrológica del nivel de aguas ordinario para periodos de 5, 10 y 20 años.

6. Valoración del estado de cauces en la cuenca a fin de determinar si la realidad de las aportaciones que genera la lluvia es eficientemente conducida hasta la laguna o si se pierden por su estado de conservación y/o dimensiones que imposibilitan el aprovechamiento del máximo escurrimiento posible que se genera. Cuantificación de costos asociados a la rehabilitación y mejoramiento de las secciones hidráulicas de las corrientes.

7. Identificación de obras realizadas sin el conocimiento ni autorización de la CONAGUA.

8. Valorar el llevar a buen término un convenio con el gobierno federal para que al estado o al municipio se le conceda la custodia de las zonas federales de la laguna y presa Hurtado.

## 8.7. Aire y cambio climático

La quema de esquilmos de cosecha agrícola, así como la práctica de la quema de las plantaciones de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) son las principales fuentes difusas de contaminación atmosférica originadas en la cuenca de la Laguna de Atotonilco. Los efectos adversos que causa a los ecosistemas de esta práctica se encuentran documentados por Chaves-Solera y Bermúdez-Loría (2006). Por otra parte, existen algunas empresas locali-

zadas en la cuenca que generan emisiones a la atmósfera; sin embargo, la magnitud e impacto de dichas emisiones no están cuantificadas. Asimismo, la cercanía de la cuenca con el Área Metropolitana de Guadalajara y de las emisiones precedentes de fuentes móviles de las autopistas y carreteras vecinales a la laguna igualmente aún no están cuantificadas.

## 8.8. Agua

De acuerdo con el estudio del balance hídrico y calidad del agua de la cuenca de la Laguna de Atotonilco, se sabe que en la cuenca existe un problema de sobreexplotación de los mantos acuíferos en donde los volúmenes concesionados de extracción son superiores a la recarga natural. Esta demanda de agua es inducida mayormente por las actividades agrícolas que dominan en la cuenca. Los cambios en el uso del suelo han impactado en las zonas forestales y disminuyendo la capacidad de retención del agua en el suelo e infiltración en el subsuelo, perdiéndose una parte importante del recurso debido a la evaporación del agua. Los estudios de las características físicas, químicas y biológicas del suelo muestran que las aguas superficiales de la cuenca se encuentran afectadas por la presencia de contaminación orgánica y patógenos derivada de las descargas de las aguas residuales municipales sin tratamiento o de descargas de aguas no municipales con tratamiento parcial. Asimismo, se ha medido un exceso de nutrientes en las aguas superficiales derivado del uso de agroquímicos en las actividades agrícolas de la cuenca.

## 8.9. Suelo

Tal como se mencionó anteriormente, en la cuenca predominan las actividades agrícolas y pecuarias -siendo la primera la de mayor importancia-, ambas ocupan el 59.57% de la superficie total en el año 2020. En la cuenca se hace uso de fertilizantes para la producción de maíz, caña y de otros cultivos extensivos. En caña se usan de 800 a 1500 kg/ha·año, mientras que para maíz se usan de 650 a 750 kg/ha·años fertilizantes nitrogenados (SAGARPA, 2015; INTAGRI, 2021). Con estas cifras y la cobertura de superficie agrícola en la cuenca se estima que se usan aproximadamente 360 toneladas de fertilizantes por año.

Existe evidencia del uso intensivo de plaguicidas usados en la producción de berries y otros cultivos, así como de fertilizantes. Desafortunadamente no se tiene cuantificada la cantidad de estos; se cuenta con información aislada de algunos de los plaguicidas que se usan por los envases que se arrojan de forma insegura en los márgenes de los arroyos de los productos agroquímicos que se usan en la región.

## 8.10. Residuos sólidos urbanos

Se cuenta con información de dos diagnósticos municipales para la gestión integral de residuos en la cuenca de la Laguna de Atotonilco. Uno elaborado para el municipio de Villa Corona y el otro para el municipio de Acatlán de Juárez (JIMAL, 2020a, 2020b). El vertedero de residuos de Acatlán recibe entre 25 a 30 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos (RSU); mientras que el del municipio de Villa Corona, aproximadamente 20 toneladas diarias. En ambos casos, de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003, se trata de vertederos tipo C no controlados ya que carecen de fosas para lixiviados, geomembranas, y no existe separación o algún tipo de manejo.

## 8.11. Ecosistemas terrestres

Los ecosistemas terrestres son los proveedores más importantes de productos para la subsistencia y desarrollo de la humanidad, y ofrecen también una amplia gama de servicios ambientales de los que la sociedad se ha beneficiado directa o indirectamente. De los ecosistemas terrestres se extraen muchos tipos de alimentos (tanto vegetales como animales), madera, fibras, combustibles, materiales de construcción y principios activos con propiedades medicinales, entre otros. Algunos de los servicios ambientales básicos que aportan son la conservación de la biodiversidad, la captación de carbono, la formación y estabilización del suelo, el control de la erosión, la protección de las cuencas hidrológicas y la degradación de los desechos orgánicos. A todo ello debe agregarse su valor estético, científico y cultural, así como su uso con fines recreativos (SEMARNAT, s/f).

## 8.12. Ecosistemas acuáticos

El agua se consideraba un recurso renovable que podría utilizarse sin que afecte su disponibilidad a largo plazo (Gleick, 1998). Sin embargo, en la cuenca de la Laguna de Atotonilco el balance hídrico está comprometido, existiendo un déficit en la recarga de los acuíferos de 52.0 hectómetros cúbicos. El recurso de agua superficial podría ser suficiente para que los escurrimientos mantengan la laguna con un nivel aceptable de agua para el sustento de la biodiversidad; sin embargo, el agua está siendo retenida en bordos para el aprovechamiento agrícola o se pierde en los canales azolvados, por los que anteriormente drenaba el agua hacia la alguna. Asimismo, los ecosistemas forestales y áreas fundamentales para la recarga hídrica están desapareciendo debido a los rápidos cambios en el uso de suelo debido a la agricultura y al desarrollo urbano.

## 8.13. Vida silvestre

Las especies y los ecosistemas brindan una gran cantidad de bienes y servicios ambientales: la variedad de alimentos, madera para muebles, papel, leña, fibras naturales, los principios activos de los productos farmacéuticos y naturistas, las resinas y los tintes son sólo algunos ejemplos. Además, los ecosistemas realizan servicios fundamentales que mantienen la vida; estos incluyen la purificación del agua y el aire, la descomposición y eliminación de los residuos, la regulación del clima, la fertilidad del suelo y el mantenimiento de la biodiversidad, entre otros (SEMARNAT, s/f). No obstante, el deterioro ambiental en la cuenca de la Laguna de Atotonilco pone en riesgo la persistencia y continuidad de los bienes y servicios ambientales que ofrece este ecosistema. El crecimiento de la población en la cuenca, la presión del desarrollo suburbano por la cercanía con el área Metropolitana de Guadalajara, el incremento en la demanda de agua para la agricultura y el uso urbano e industrial, la carencia de servicios de saneamiento de las aguas residuales, aunado a la carencia de servicios seguros para el manejo y disposición de residuos urbanos, agrícolas e industriales ponen en riesgo la subsistencia de la laguna y sus humedales debido a sus características geomorfológicas.

## 8.14. Recursos forestales

La enorme superficie que cubren las selvas y los bosques en México le brindan, además de una variada gama de servicios ambientales, un gran potencial para el aprovechamiento de sus recursos forestales. Los bosques y selvas protegen el suelo contra la erosión, propician el mantenimiento de su fertilidad, garantizan el volumen y la calidad del agua captada en las cuencas, preservan la biodiversidad y propician la estabilidad climática a niveles regional y global (SEMARNAT, s/f). Debido al avance en la frontera agrícola y el desarrollo urbano, los ecosistemas forestales en la cuenca son los más afectados. Los bosques de pino y encino, así como las selvas bajas, están siendo comprometidas de acuerdo con el análisis de los cambios en el uso del suelo. El Área de Protección de Flora y Fauna del Bosque de La Primavera ubicada al Norte de la cuenca, y el Área Estatal de Protección Hidrológica al Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos, ubicada al Sureste de la cuenca, representan importantes áreas para la protección de los ecosistemas de bosque con los que cuenta la cuenca.

# Anexos

## Anexo I. Registro especies arbóreas, arbustivas y herbáceas

**Tabla I.1.** Registro de especies con alguna relevancia o interés en la Laguna de Atotonilco de acuerdo con la CONABIO

| Nombre científico | Nombre común | Estrato | Observación (relevancia o interés) |
|---|---|---|---|
| **Bosque de pino y pino - encino** | | | |
| *Pinus oocarpa* | Pino Ocote | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Pinus leiophylla* | Pino Chimonque | Estrato arbóreo | Endémico a México |
| *Pinus devoniana (michoacana)* | Pino Escobetón | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Juniperus deppeana* | Sabino (Cedro) | Estrato arbóreo | |
| *Quercus laeta* | Roble blanco | Estrato arbóreo | |
| *Vachelia farnesiana (Acacia farnesiana)* | Huizache | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Arbutus xalapensis* | Madroño | Estrato arbóreo | |
| *Atriplex semibaccata* | Arbusto salado australiano | Estrato arbóreo | Introducido en México |
| *Oxibasis mexicana (Chenopodium mexicanum)* | Quelite | Estrato arbóreo | |
| *Chenopodium album* | *Cenizo* | Estrato arbóreo | Introducido en México |
| *Drimaria glandulosa* | | Estrato arbóreo | |
| *Cuscuta aff. umbellata* | | Estrato arbóreo | |
| *Cynodon dactylon* | Gallitos asiáticos | Estrato herbáceo | |
| *Datura stramonium* | Toloache | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Solanum houstonii (Solanum tridynamum)* | Mala mujer | Estrato herbáceo | Endémico a México |
| *Allionia incarnata* | Hierba de la hormiga | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Mirabilis jalapa* | Maravilla | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Malvastrum bicuspidatum* | Tuchi | Estrato herbáceo | |
| *Crusea hispida* | Albacar | Estrato herbáceo | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Brassica alba* | | Estrato herbáceo | |
| *Distimaque quinquefolius (Merremia quinquefolia)* | Cinco hojas | Estrato herbáceo | |
| *Polypogon viridis (Agrostis semiverticillata)* | Cola de ardilla Eurasiática | Estrato herbáceo | Introducido en México |
| *Paspalum dilatatum* | Pasto bahía | Estrato herbáceo | Introducido en México |
| *Setaria parviflora (geniculata)* | Zacate sedoso | Estrato herbáceo | |
| *Flaveria trinervia* | Centella | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Milleria quinqueflora* | Escobilla | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Bidens aequisquama* | Aceitilla morada | Estrato herbáceo | Endémico a México |
| *Tagetes lunulata* | Cinco gallas | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Tagetes remotiflora* | Cempasúchil | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Calyptocarpus viales* | Garañona | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Simsia lagascaeformis* | Acahualillo tropical | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Simsia foetida* | | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Funastrum pannosum (Sarcostemma pannosum)* | | Enredaderas y epífitas | |
| *Sarcostemma heterophyllum* | Bejuco de reja | Enredaderas y epífitas | |
| *Clematis dioica* | Barba de chivo | Enredaderas y epífitas | |
| *Cocculus diversifolius* | | Enredaderas y epífitas | |
| *Convolvulus arvensis* | Correhuela de Eurasia | Enredaderas y epífitas | Introducido en México |
| *Gronovia scandens* | Chichicaste | Enredaderas y epífitas | |
| *Cissus cicyoides* | Vides de hiedra | Enredaderas y epífitas | |
| *Selenicereus ocamponis (Hylocereus purpusii)* | Pitahaya | Enredaderas y epífitas | Endémico de México |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Selenicererus undatus (Hylocereus undatus)* | Pitahaya | Enredaderas y epífitas | |
| *Tyllandsia recurvata* | | Enredaderas y epífitas | |
| **Bosque de encino** | | | |
| *Quercus magnoliifolia* | Encino amarillo | Estrato arbóreo | |
| *Quercus resinosa* | Roble | Estrato arbóreo | Endémico de México |
| *Quercus laeta* | Roble blanco | Estrato arbóreo | |
| *Quercus deserticola* | Encino blanco | Estrato arbóreo | |
| *Quercus salicifolia* | Encino amarillo | Estrato arbóreo | |
| *Quercus calophyla (Q. candicans)* | Encino ancho | Estrato arbóreo | |
| *Quercus rugosa* | Encino quiebra ancha | Estrato arbóreo | Endémico de México |
| *Vachellia farnesiana (Acacia farnesiana)* | Huizache | Estrato arbustivo | Nativo de México |
| *Ipomoea intrapilosa* | Ozote | Estrato arbustivo | |
| **Bosque tropical caducifolio** | | | |
| *Eysenhardtia polystachya* | Palo azul | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Zinowiewia concinna* | Palo blanco | | |
| *Viguiera quinqueradiata* | Vara blanca | Estrato arbóreo | |
| *Heliocarpus terebinthinaceus* | Cicuito | Estrato arbóreo | Endémico de México |
| *Bursera fagaroides* | Torote | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Bursera penicillata* | Aceitillo | Estrato arbóreo | |
| *Ceiba aesculifolia* | Pochote | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Ipomoea intrapilosa* | Palo blanco | Estrato arbóreo | |
| *Lysiloma divaricatum (Lysiloma microphylla)* | Mauto | Estrato arbóreo | |
| *Plumeria rubra* | Cacalosúchil | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Guazuma ulmifolia* | Guásima | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Amphipteryqium adstringens* | | Estrato arbóreo | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Stenocereus queretaroensis* | Cardón Pitayo | Estrato arbóreo | Endémico de México |
| *Isolatocereus dumortierii* | Órgano cimarrón | Estrato arbóreo | Endémico de México |
| *Heliocarpus t erebinthaniceus* | Cicuito | Estrato arbóreo | Endémico de México |
| *Euphorbia fugens* | Corona de cristo | Estrato arbóreo | |
| *Leucaena esculenta* | Guaje rojo | Estrato arbóreo | |
| *Ledenbergia macrantha* | Requelite | Estrato arbóreo | |
| *Ficus oldmanii ssp horaliae (inéd.)* | | Estrato arbóreo | |
| *Ficus insipida ssp radulina* | Higuera blanca | Estrato arbóreo | |
| *Ficus padifolia* | Tascalame | Estrato arbóreo | |
| *Ficus cotinifoli* | Amate negro | Estrato arbóreo | |
| *Ficus petiolaris* | Amate amarillo | Estrato arbóreo | Endémico de México |
| *Iresine calea* | Pelusa | Estrato arbustivo | |
| *Tournefortia hartwegiana* | Confite coyote | Estrato arbustivo | |
| *Cnidoscolus spinosus* | Mala mujer | Estrato arbustivo | Vulnerable (UICN) |
| *Opuntia fuliginosa* | Nopal hollín | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Opuntia Atropes* | Nopal xoconostle | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Opuntiajoconostle* | Xoconostle | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Fouquieria Formosa* | Cascabelillo | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Agave angustifolia* | Bacanora | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Bursera bipinnata* | Copal santo | Estrato arbustivo | |
| *Coursetia glandulosa* | Palo dulce | Estrato arbustivo | |
| *Abutilon simulans* | Corona de Reina | Estrato arbustivo | |
| *Thevetia ovata* | Árbol de cascabeles | Estrato arbustivo | |
| *Plumbago scandens* | Aretitos | Estrato arbustivo | |
| *Abutilon reventum* | Malva | Estrato herbáceo | |
| *Astrolepis sinuata (Cheilanthes sinuata)* | Doradilla ondulada | Estrato herbáceo | |
| *Mammillaria scrippsiana* | Biznaga de la barranca de Guadalajara | Estrato herbáceo | Endémica a México |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Pellaea oaxacana* | Helechos | Estrato herbáceo | Endémica a México |
| *Cheilanthes lozanii* | Helechos | Estrato herbáceo | |
| *Bommeria pedata* | Helecho terciopelo | Estrato herbáceo | Endémico de México |
| *Solanum diflorum* | Collar de Reina | Estrato arbustivo | |
| *Solanum cardiophyllum* | Papa cimarrona | Estrato arbustivo | |
| *Hibanthus humilis* | | Estrato arbustivo | |
| *Commelina pallida* | Hierba del pollo | Estrato arbustivo | |
| *Anoda crenatiflora* | Pintapán del monte | Estrato arbustivo | |
| *Mirabilis jalapa* | Maravilla | Estrato arbustivo | Nativo de México |
| *Allionia incarnata* | Hierba de la hormiga | Estrato arbustivo | Nativo de México |
| *Spporobolus atrovirens* | Pasto | Estrato arbustivo | |
| *Flaveria trinervia* | Centella | Estrato arbustivo | |
| *Talinum paniculatum* | Quelite de monte | Estrato arbustivo | |
| *Setaria adhaerens* | Cadillo | Estrato arbustivo | Introducida en México |
| *Nissolia microptera* | Zapotillo | Estrato arbustivo | |
| *Conoclinium betonicifolium* | Flor de niebla | Estrato arbustivo | Nativo de México |
| *(Eupatorium betonicifolium)* | Garañona | Estrato arbustivo | Nativo de México |
| *Calyptocarpus viales* | | Estrato arbustivo | |
| *Cyrcium horrydilum* | | | |
| **Bosque espinoso / mezquital** | | | |
| *Prosopis laevigata* | Mezquite Blanco | Estrato arbóreo | |
| *Phytocellobium dulce* | Guamúchil | Estrato arbóreo | |
| *Bursera penicillata* | Aceitillo | Estrato arbóreo | |
| *Guazuma ulmifolia* | Guásima | Estrato arbóreo | Nativo de México |
| *Ficus oldmanii horaliae (Ined.)* | Ficus | Estrato arbóreo | |
| *Ficus padifolia* | Tescalame | Estrato arbóreo | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Mimosa acantholoba var. eurycarpa* | Cola de Iguana (Uña de gato) | Estrato arbóreo | |
| *Opuntia jaliscana* | Nopal de Jalisco | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Ipomoea intrapilosa* | Palo blanco | Estrato arbustivo | |
| *Eysenhardtia polystachya* | Palo azul | Estrato arbustivo | Nativo de México |
| *Stenocereus queretaroensis* | Cardón Pitayo | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Opuntia joconostle* | Xonocostle | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Selenicereus ocamponis (Hylocereus purpusii)* | Pitahaya | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Selenicereus undatus (Hylocereus undatus)* | Pitahaya | Estrato arbustivo | |
| *Tillandsia recurvata* | Heno | Estrato arbustivo | |
| **Pastizal** | | | |
| *Muhlenbergia pectinata* | Camalotillo | | Endémica a México |
| *Paspalum plicatulum* | Barba negra | | |
| *Heteropogon contortus* | Pasto | | |
| *Sporobolus atrovirens* | Pasto | | |
| *Sporobolus pyramidatus* | Zacate salado | | |
| *Distichlis spicata* | | | |
| *Scirpus americanus* | Junco Espadaña | | |
| *Schoenoplectus americanus (Eragostris obtusiflora)* | Acebuche | | Nativo de México |
| *Celtis pallida* | | | |
| **Vegetación ruderal / secundaria** | | | |
| *Pluchea simpitifolia* | | Estrato arbustivo | |
| *Indigofera sufruticosa* | | Estrato arbustivo | |
| *DesmodiumOrbiculare* | Hierba de la Víbora | Estrato arbustivo | |
| *Crotalaria mollicula* | Chipilín de Monte | Estrato arbustivo | |
| *Hyptis albida* | | Estrato arbustivo | |
| *Dyssodia tagetiflora* | Yerba del Taray | Estrato arbustivo | Endémico de México |
| *Senecio salignus* | Azomiate | Estrato arbustivo | Nativo de México |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Ricinus comunis* | Higuerilla | Estrato arbustivo | Introducida en México |
| *Sonchus oleraceus* | Achicoria Europea | Estrato herbáceo | Introducida en México |
| *Tribulus cistoides* | Torito | Estrato herbáceo | Nativo de México |
| *Ageratum houstonianum* | Hierba del Zopilote | Estrato herbáceo | Nativa de México |
| *Solanum lycopersicum (Lycopersicum esculentum var. Cancellata)* | Jitomate | Estrato herbáceo | |
| *Chloris submutica* | Pata de Gallo Mexicano | Estrato herbáceo | Endémico de México |
| *Melinis repens (Rhynchelytrum repens)* | Pasto Africano rosado | Estrato herbáceo | |
| *Florestina pedata* | | Estrato herbáceo | Introducida en México |
| **Vegetación acuática y subacuática** | | | |
| *Typha domingesis (Typha dominguensis)* | Tule | | |
| *Hydrocotile verticillata* | Redonditas | | |
| *Bacopa monierii* | Verdolaga de puerco | | |
| *Eichhornia crassipes* | Lirio acuático Sudamericano | | Introducido en México |
| **Vegetación semiacuática** | | | |
| *Cynodon pletostachius* | Estrella africana | | Introducido en México |
| *Cynodon dactylon* | Gallitos asiáticos | | |
| *Cenchrus incertus* | Abrojo | | |
| *Bouteloua repens* | Navajita Rastrera | | |
| *Hilaria ciliata* | Tempranero anual | | |
| *Aristida ternipens* | Aceitilla | | Nativo de México |
| *Paspalum notatum* | Pasto estrella | | |
| *Salix sp.* | Sauce | | |

## Anexo II. Registro de las aves avistadas en la laguna

Información recuperada del Informe técnico 2004 - 2005 del Laboratorio Laguna de Sayula, Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias Biológicas y Ambientales, CUCBA, U de G.

**Tabla II. 1.** Listado de aves avistas en la Laguna de Atotonilco

| Orden | Familia | No | Nombre científico | Nombre común |
|---|---|---|---|---|
| Anseriformes | Anatidae | 1 | *Dendrocygna autumnalis* | Pato pijije aliblanco |
| Anseriformes | Anatidae | 2 | *Dendrocygna bicolor* | Pato pijije alioscuro |
| Anseriformes | Anatidae | 3 | *Anser caerulescens* | Ganso cerúleo |
| Anseriformes | Anatidae | 4 | *Mareca strepera* | Pato friso |
| Anseriformes | Anatidae | 5 | *Mareca penelope* | Pato silbón |
| Anseriformes | Anatidae | 6 | *Mareca americana* | Pato chalcuán |
| Anseriformes | Anatidae | 7 | *Anas platyrhynchos* | Pato de collar |
| Anseriformes | Anatidae | 8 | *Anas diazi* | Pato altiplanero |
| Anseriformes | Anatidae | 9 | *Spatula discors* | Cerceta aliazul clara |
| Anseriformes | Anatidae | 10 | *Spatula cyanoptera* | Cerceta aliazul café |
| Anseriformes | Anatidae | 11 | *Spatula clypeata* | Pato cucharón |
| Anseriformes | Anatidae | 12 | *Anas acuta* | Pato golondrino |
| Anseriformes | Anatidae | 13 | *Anas crecca* | Cerceta alioscura |
| Anseriformes | Anatidae | 14 | *Aythya valisineria* | Pato coacoxtle |
| Anseriformes | Anatidae | 15 | *Aythya affinis* | Pato boludo menor |
| Anseriformes | Anatidae | 16 | *Bucephala albeola* | Pato monja |
| Anseriformes | Anatidae | 17 | *Oxyura jamaicensis* | Pato rojizo alioscuro |
| Galliformes | Odontophoridae | 18 | *Colinus virginianus* | Codorniz cotuí norteña |
| Podicipediformes | Podicipedidae | 19 | *Tachybaptus dominicus* | Zambullidor menor |
| Podicipediformes | Podicipedidae | 20 | *Podilymbus podiceps* | Zambullidor piquigrueso |
| Podicipediformes | Podicipedidae | 21 | *Podiceps nigricollis* | Zambullidor orejudo |
| Pelecaniformes | Pelecanidae | 22 | *Pelecanus erythrorhynchos* | Pelícano blanco |
| Suliformes | Phalacrocoracidae | 23 | *Phalacrocorax brasilianus* | Cormorán neotropical |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 24 | *Botaurus lentiginosus* | Garza norteña del tular |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Pelecaniformes | Ardeidae | 25 | *Ixobrychus exilis* | Avetorito americano |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 26 | *Ardea herodias* | Garzón cenizo |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 27 | *Ardea alba* | Garzón blanco |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 28 | *Egretta thula* | Garza dedos dorados |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 29 | *Egretta caerulea* | Garza azul |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 30 | *Egretta tricolor* | Garza ventriblanca |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 31 | *Bubulcus ibis* | Garza ganadera |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 32 | *Butorides virescens* | Garcita oscura |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 33 | *Nycticorax nycticorax* | Garza nocturna coroninegra |
| Pelecaniformes | Threskiornithidae | 34 | *Plegadis chihi* | Ibis oscuro |
| Pelecaniformes | Threskiornithidae | 35 | *Platalea ajaja* | Espátula rosada |
| Ciconiiformes | Ciconiidae | 36 | *Mycteria americana* | Cigüeña americana |
| Cathartiformes | Cathartidae | 37 | *Coragyps atratus* | Carroñero común |
| Cathartiformes | Cathartidae | 38 | *Cathartes aura* | Aura común |
| Accipitriformes | Pandionidae | 39 | *Pandion haliaetus* | Águila pescadora |
| Accipitriformes | Accipitridae | 40 | *Elanus leucurus* | Milano coliblanco |
| Accipitriformes | Accipitridae | 41 | *Parabuteo unicinctus* | Aguililla rojinegra |
| Accipitriformes | Accipitridae | 42 | *Rupornis magnirostris* | Aguililla caminera |
| Accipitriformes | Accipitridae | 43 | *Geranoaetus albicaudatus* | Aguililla coliblanca |
| Accipitriformes | Accipitridae | 44 | *Buteo albonotatus* | Aguililla aura |
| Accipitriformes | Accipitridae | 45 | *Buteo jamaicensis* | Aguililla colirrufa |
| Falconiformes | Falconidae | 46 | *Caracara cheriway* | Caracara común |
| Falconiformes | Falconidae | 47 | *Falco sparverius* | Halcón cernícalo |
| Falconiformes | Falconidae | 48 | *Falco peregrinus* | Halcón peregrino |
| Falconiformes | Falconidae | 49 | *Falco mexicanus* | Halcón pálido |
| Gruiformes | Rallidae | 50 | *Rallus limicola* | Ralo barrado rojizo |
| Gruiformes | Rallidae | 51 | *Porzana carolina* | Ralo barrado grisáceo |
| Gruiformes | Rallidae | 52 | *Porphyrio martinica* | Gallareta morada |
| Gruiformes | Rallidae | 53 | *Gallinula chloropus* | Gallareta frentirroja |
| Gruiformes | Rallidae | 54 | *Fulica americana* | Gallareta americana |
| Charadriiformes | Charadriidae | 55 | *Pluvialis squatarola* | Chorlo gris |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Charadriiformes | Charadriidae | 56 | *Charadrius nivosus* | Chorlito nevado |
| Charadriiformes | Charadriidae | 57 | *Charadrius semipalmatus* | Chorlito semipalmeado |
| Charadriiformes | Charadriidae | 58 | *Charadrius vociferus* | Chorlito tildío |
| Charadriiformes | Recurvirostridae | 59 | *Himantopus mexicanus* | Avoceta piquirrecta |
| Charadriiformes | Recurvirostridae | 60 | *Recurvirostra americana* | Avoceta piquicurva |
| Charadriiformes | Jacanidae | 61 | *Jacana spinosa* | Jacana centroamericana |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 62 | *Tringa flavipes* | Patamarilla menor |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 63 | *Tringa solitaria* | Playero charquero |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 64 | *Catroptophorus semipalmata* | Playero pihuihui |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 65 | *Actitis macularius* | Playerito alzacolita |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 66 | *Numenius americanus* | Zarapito piquilargo |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 67 | *Calidris mauri* | Playerito occidental |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 68 | *Calidris minutilla* | Playerito mínimo |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 69 | *Calidris bairdii* | Playerito de baird |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 70 | *Calidris melanotos* | Playero pechirrayado |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 71 | *Limnodromus scolopaceus* | Costurero de agua dulce |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 72 | *Gallinago gallinago* | Agachona común |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 73 | *Phalaropus tricolor* | Faláropo piquilargo |
| Charadriiformes | Laridae | 74 | *Leucophaeus atricilla* | Gaviota atricila |
| Charadriiformes | Laridae | 75 | *Larus delawarensis* | Gaviota de delaware |
| Charadriiformes | Laridae | 76 | *Rissa tridactyla* | Gaviota tridáctila |
| Charadriiformes | Laridae | 77 | *Hydroprogne caspia* | Golondrina marina grande piquirroja |
| Charadriiformes | Laridae | 78 | *Sterna forsteri* | Golondrina marina de Forster |
| Charadriiformes | Laridae | 79 | *Chlidonias niger* | Golondrina marina negruzca |
| Columbiformes | Columbidae | 80 | *Zenaida asiática* | Paloma aliblanca |
| Columbiformes | Columbidae | 81 | *Zenaida macroura* | Paloma huilota |
| Columbiformes | Columbidae | 82 | *Columbina inca* | Tórtola colilarga |
| Columbiformes | Columbidae | 83 | *Columbina passerina* | Tortolita pechipunteada |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Cuculiformes | Cuculidae | 84 | *Geococcyx velox* | Correcaminos tropical |
| Cuculiformes | Cuculidae | 85 | *Crotophaga sulcirostris* | Garrapatero pijuy |
| Strigiformes | Tytonidae | 86 | *Tyto alba* | Lechuza de campanario |
| Strigiformes | Strigidae | 87 | *Athene cunicularia* | Tecolote zancón |
| Caprimulgiformes | Caprimulgidae | 88 | *Chordeiles acutipennis* | Chotacabra halcón |
| Caprimulgiformes | Caprimulgidae | 89 | *Chordeiles minor* | Chotacabra zumbón |
| Caprimulgiformes | Apodidae | 90 | *Streptoprocne semicollaris* | Vencejo nuquiblanco |
| Caprimulgiformes | Apodidae | 91 | *Aeronautes saxatalis* | Vencejo gorgiblanco |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 92 | *Colibri thalassinus* | Chupaflor orejivioleta verde |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 93 | *Cynanthus sordidus* | Colibrí sórdido |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 94 | *Amazilia rutila* | Amazilia canela |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 95 | *Amazilia violiceps* | Amazilia occidental |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 96 | *Heliomaster constantii* | Heliomáster flanquigrís |
| Coraciiformes | Alcedinidae | 97 | *Ceryle alcyon* | Martín pescador norteño |
| Coraciiformes | Alcedinidae | 98 | *Chloroceryle americana* | Martín pescador verde |
| Piciformes | Picidae | 99 | *Melanerpes aurifrons* | Carpintero pechileonado común |
| Piciformes | Picidae | 100 | *Dryobates scalaris* | Carpinterillo mexicano |
| Passeriformes | Tyrannidae | 101 | *Camptostoma imberbe* | Mosquerito silbador |
| Passeriformes | Tyrannidae | 102 | *Sayornis nigricans* | Mosquero negro |
| Passeriformes | Tyrannidae | 103 | *Sayornis saya* | Mosquero llanero |
| Passeriformes | Tyrannidae | 104 | *Pyrocephalus rubinus* | Mosquero cardenalito |
| Passeriformes | Tyrannidae | 105 | *Myiarchus tyrannulus* | Papamoscas copetón tiranillo |
| Passeriformes | Tyrannidae | 106 | *Pitangus sulphuratus* | Luis bienteveo |
| Passeriformes | Tyrannidae | 107 | *Megarynchus pitangua* | Luis piquigrueso |
| Passeriformes | Tyrannidae | 108 | *Tyrannus melancholicus* | Tirano tropical común |
| Passeriformes | Tyrannidae | 109 | *Tyrannus vociferans* | Tirano gritón |
| Passeriformes | Laniidae | 110 | *Lanius ludovicianus* | Verdugo americano |
| Passeriformes | Vireonidae | 111 | *Vireo bellii* | Vireo de Bell |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Passeriformes | Vireonidae | 112 | *Vireo olivaceus* | Vireo ojirrojo tropical |
| Passeriformes | Corvidae | 113 | *Corvus corax* | Cuervo común |
| Passeriformes | Alaudidae | 114 | *Eremophila alpestris* | Alondra cornuda |
| Passeriformes | Hirundinidae | 115 | *Progne chalybea* | Golondrina grande pechipálida |
| Passeriformes | Hirundinidae | 116 | *Tachycineta bicolor* | Golondrina canadiense |
| Passeriformes | Hirundinidae | 117 | *Petrochelidon pyrrhonota* | Golondrina risquera |
| Passeriformes | Hirundinidae | 118 | *Hirundo rustica* | Golondrina tijereta |
| Passeriformes | Aegithalidae | 119 | *Psaltriparus minimus* | Sastrecillo |
| Passeriformes | Troglodytidae | 120 | *Catherpes mexicanus* | Saltaparedes |
| Passeriformes | Troglodytidae | 122 | *Cistothorus palustris* | Saltapared pantanero piquilargo |
| Passeriformes | Polioptilidae | 123 | *Polioptila caerulea* | Perlita piis |
| Passeriformes | Turdidae | 124 | *Turdus rufopalliatus* | Zorzal dorsicanelo |
| Passeriformes | Mimidae | 125 | *Mimus polyglottos* | Cenzontle aliblanco |
| Passeriformes | Mimidae | 126 | *Toxostoma curvirostre* | Cuitlacoche común |
| Passeriformes | Mimidae | 127 | *Melanotis caerulescens* | Mulato común |
| Passeriformes | Bombycillidae | 128 | *Bombycilla cedrorum* | Chinito |
| Passeriformes | Parulidae | 129 | *Vermivora celata* | Chipe celato |
| Passeriformes | Parulidae | 130 | *Vermivora luciae* | Chipe rabadillicastaño |
| Passeriformes | Parulidae | 131 | *Mniotilta varia* | Chipe trepador |
| Passeriformes | Parulidae | 132 | *Oporornis tolmiei* | Chipe cabecigrís de Tolmie |
| Passeriformes | Parulidae | 133 | *Geothlypis trichas* | Mascarita norteña |
| Passeriformes | Icteriidae | 134 | *Icteria virens* | Chipe piquigrueso |
| Passeriformes | Thraupidae | 135 | *Volatinia jacarina* | Semillerito brincador |
| Passeriformes | Thraupidae | 136 | *Sporophila torqueola* | Semillerito collarejo |
| Passeriformes | Passerellidae | 137 | *Melozone kieneri* | Rascadorcito coronirrufo |
| Passeriformes | Passerellidae | 138 | *Melozone fusca* | Rascador pardo |
| Passeriformes | Passerellidae | 139 | *Chondestes grammacus* | Gorrión arlequín |
| Passeriformes | Cardinalidae | 140 | *Pheucticus melanocephalus* | Picogrueso pechicafé |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Passeriformes | Cardinalidae | 141 | *Passerina caerulea* | Picogrueso azul |
| Passeriformes | Cardinalidae | 142 | *Passerina versicolor* | Colorín oscuro |
| Passeriformes | Cardinalidae | 143 | *Passerina ciris* | Colorín sietecolores |
| Passeriformes | Icteridae | 144 | *Agelaius phoeniceus* | Tordo sargento |
| Passeriformes | Icteridae | 145 | *Sturnella neglecta* | Pradero gorgeador |
| Passeriformes | Icteridae | 146 | *Xanthocephalus xanthocephalus* | Tordo cabeciamarillo |
| Passeriformes | Icteridae | 147 | *Euphagus cyanocephalus* | Tordo ojos amarillos |
| Passeriformes | Icteridae | 148 | *Quiscalus mexicanus* | Zanate mexicano |
| Passeriformes | Icteridae | 149 | *Molothrus aeneus* | Tordo ojirojo |
| Passeriformes | Icteridae | 150 | *Molothrus ater* | Tordo cabecicafé |
| Passeriformes | Icteridae | 151 | *Icterus wagleri* | Bolsero de Wagler |
| Passeriformes | Icteridae | 152 | *Icterus spurius* | Bolsero castaño |
| Passeriformes | Icteridae | 153 | *Icterus cucullatus* | Bolsero cuculado |
| Passeriformes | Icteridae | 154 | *Icterus pustulatus* | Bolsero pustulado |
| Passeriformes | Fringillidae | 155 | *Carpodacus mexicanus* | Carpodaco doméstico |
| Passeriformes | Fringillidae | 156 | *Spinus psaltria* | Jilguero dorsioscuro |
| Passeriformes | Passeridae | 157 | *Passer domesticus* | Gorrión doméstico |
| Podicipediformes | Podicipedidae | 158 | *Aechmophorus clarkii* | Zambullidor de Clarck |

**Figura II. 1**.*Amazilia violiceps* (Colibrí Corona Violeta)
[Fuente: E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 2.** *Anas acuta* (Pato Golondrino)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 3.** *Anas clypeata* (Pato Cucharón)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 4.** *Anas cyanopetra* (Cerceta Castaña)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 5.** *Calidris minutilla* (Playero Diminuto)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 6.** *Charadrius nivosus* (Chorlito Nevado)
[Fuente: C. Palomera-García, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 7.** *Charadrius vociferus* (Chorlito Tildío)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 8.** *Chen caerulescens* (Ganso blanco)
[Fuente: J. Cortés-Aguilar, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 9.** *Columbina inca* (Tortolita Cola Larga)
[Fuente: E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 10.** *Egretta Thula* (Garza Dedos Dorados)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 11.** *Egretta tricolor* (Garza Tricolor)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias & E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 12.** *Fulica americana* (Gallareta Americana)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 13.** *Himantopus mexicanus* (Monjita Americana)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias & E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 14.** *Hirunda rustica* (Golondrina Tijereta)
[Fuente: E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 15.** *Larus delawarensis* (Gaviota Pico Anillado)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 16.** *Limnodromus scolopaceus* (Costurero Pico Largo)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias & E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 17.** *Molothrus ater* (Tordo Cabeza Café)
[Fuente: E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 18.** *Oxyura jamaicensis* (Pato Tepalcate)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 19.** *Pelecanus erythrorhynchos* (Pelícano Blanco Americano)
[Fuente: E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 20.** *Platalea ajaja* (Espátula Rosada)
[Fuente: E. Espinosa-Ramírez, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 21.** *Plegadis chihi* (Ibis Ojos Rojos)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 22.** *Recurvirostra americana* (Avoceta Americana)
[Fuente: C. Palomera-García, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 23.** *Sturnella neglecta* (Pradero del Oeste)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

**Figura II. 24.** *Xanthocephalus xanthocephalus* (Tordo Cabeza Amarilla)
[Fuente: J. A. Espinosa-Arias, 2021, elaboración propia]

## Anexo III. Información cartográfica digital

**Tabla III. 1.** Fuentes de información cartográfica digital

| Fuente de información cartográfica | Descripción | Cartografía | Características Utilizadas |
|---|---|---|---|
| Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) | Conjunto de datos vectoriales de información a Escala 1: 50,000 | Tala (F13D64), Guadalajara Oeste (F13D65), Cocula (F13D74), Jocotepec (F13D75), Atemajac de Brizuela (F13D84), Zacoalco de Torres (F13D85) | Edafología<br>Geología<br>Hidrología<br>Curvas de nivel<br>Cuerpos de agua<br>Áreas urbanas<br>Carreteras<br>Calles<br>Presas<br>Acueductos<br>Bordos<br>Manantiales<br>Tanques de agua<br>Canales en operación<br>Banco de materiales |
| | Conjunto de datos vectoriales de información a Escala 1: 250,000 | Marco Geoestadístico, febrero 2018 | Límite Administrativo de México |
| | Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL) a Escala 1: 50,000 | Aplicación geoespacial diseñada para el estudio de cuencas y cálculo de caudales en ríos y arroyos | Unidades de captación de aguas superficiales (regiones hidrológicas, cuencas y subcuencas |
| Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (IIEG) | Conjunto de datos vectoriales de información a Escala 1: 50 000 | Marco Geoestadístico del estado de Jalisco | Límite estatal<br>Límite municipal |
| | Información del estado de Jalisco, a escala 1:50,000 | Uso del Suelo y Vegetación, serie VI | Uso de suelo y vegetación año 2011 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) | Red de estaciones climatológicas | Base de datos de información climatológica histórica | Precipitación<br>Temperatura<br>Evapotranspiración |
| | Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) | Disponibilidad de los acuíferos en escala 1:250,000 | Acuíferos |
| | Dirección de administración del agua, organismo de cuenca Lerma Santiago Pacifico | Concesiones de aguas superficiales y subterráneas | Sitios de extracción de aguas subterráneas y superficiales |
| Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) | 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García) | Climatología, 1:1,000,000, clima, Escala 1:1,000,000. México. | Climas |
| Copernicus Open Access Hub, SENTINEL, Data Ground Segment (PDGS) | Imágenes de satélite Sentinel-2 A, Fecha: 2020-01-13 T21:20:12.000000Z | S2B_MSI-L2A_20200113T172659_N0213_R012_T13QFC _20200113T212012.SAFE | Uso de suelo y vegetación año 2020 |

## Anexo IV. Especies de flora por tipo de vegetación

**Tabla IV. 1.** Bosque de pino y pino-encino

| Familia | Subfamilia/Tribu | *Género / Especie* | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Pinaceae | | *Pinus oocarpa* | Pino Ocote |
| Pinaceae | | *Pinus leiophylla* | Pino Chimonque |
| Pinaceae | | *Pinus devoniana (michoacana)* | Pino Escobetón |
| Cupressaceae | Cupressoideae | *Juniperus deppeana* | Sabino (Cedro) |
| Fagaceae | | *Quercus laeta* | Roble blanco |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Vachelia farnesiana (Acacia farnesiana)* | Huizache |
| Ericaceae | Arbutoideae | *Arbutus xalapensis* | Madroño |
| Amaranthaceae | Chenopodioideae | *Atriplex semibaccata* | Arbusto salado australiano |
| Amaranthaceae | Chenopodioideae | *Oxibasis mexicana (Chenopodium mexicanum)* | Quelite |
| Amaranthaceae | Chenopodioideae | *Chenopodium album* | Cenizo |
| Caryophyllaceae | Paronychioideae | *Drymaria glandulosa* | Cilantrillo |
| Convolvulaceae | Cuscutae (Tribu) | *Cuscuta aff. umbellata* | |
| Poaceae | Chloridoideae | *Cynodon dactylon* | Gallitos asiáticos |
| Solanaceae | Solanoideae | *Datura stramonium* | Toloache |
| Solanaceae | Solanoideae | *Solanum houstonii (Solanum tridynamum)* | Mala mujer |
| Nyctaginaceae | | *Allionia incarnata* | Hierba de la hormiga |
| Nyctaginaceae | | *Mirabilis jalapa* | Maravilla |
| Malvaceae | Malvoideae | *Malvastrum bicuspidatum* | Tuchi |
| Rubiaceae | Rubioideae | *Crusea hispida* | Albacar |
| Brassicaceae | Brassiceae (Tribu) | *Brassica alba* | |
| Convolvulaceae | Merremicae (Tribu) | *Distimake quinquefolius (Merremia quinquefolia)* | Cinco hojas |
| Poaceae | Pooideae | *Polypogon viridis (Agrostis semiverticillata)* | Cola de ardilla Eurasiática |
| Poaceae | Pooideae | *Paspalum dilatatum* | Pasto bahía |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Poaceae | Pooideae | *Setaria parviflora (geniculata)* | Zacate sedoso |
| Asteraceae | Asteroideae | *Flaveria trinervia* | Centella |
| Asteraceae | Asteroideae | *Milleria quinqueflora* | Escobilla |
| Asteraceae | Asteroideae | *Bidens aequisquama* | Aceitilla morada |
| Asteraceae | Asteroideae | *Tagetes lunulata* | Cinco gallas |
| Asteraceae | Asteroideae | *Tagetes remotiflora* | Cempasúchil |
| Asteraceae | Asteroideae | *Calyptocarpus viales* | Garañona |
| Asteraceae | Asteroideae | *Simsia lagascaeformis* | Acahualillo tropical |
| Asteraceae | Asteroideae | *Simsia foetida* | |
| Apocynaceae | Asciepiadoideae | *Funastrum pannosum (Sarcostemma pannosum)* | |
| Apocynaceae | Asciepiadoideae | *Sarcostemma heterophyllum* | Bejuco de reja |
| Ranunculaceae | Ranunculoideae | *Clematis dioica* | Barba de chivo |
| Menispermaceae | | *Cocculus diversifolius* | |
| Convolvulaceae | Convolvuleae (Tribu) | *Convolvulus arvensis* | Correhuela de Eurasia |
| Loasaceae | | *Gronovia scandens* | Chichicaste |
| Vitaceae | | *Cissus cicyoides* | Vides de hiedra |
| Cactaceae | Cactoideae | *Selenicereus ocamponis (Hylocereus purpusii)* | Pitahaya |
| Cactaceae | Cactoideae | *Selenicererus undatus (Hylocereus undatus)* | Pitahaya |
| Bromeliaceae | Tillandsioideae | *Tyllandsia recurvata* | |

**Tabla IV. 2.** Bosque de encino

| Familia | Subfamilia/Tribu | Género / Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Fagaceae | | *Quercus magnoliifolia* | Encino amarillo |
| Fagaceae | | *Quercus resinosa* | Roble |
| Fagaceae | | *Quercus laeta* | Roble blanco |
| Fagaceae | | *Quercus deserticola* | Encino blanco |
| Fagaceae | | *Quercus salicifolia* | Encino amarillo |
| Fagaceae | | *Quercus calophyla (Q. candicans)* | Encino ancho |
| Fagaceae | | *Quercus rugosa* | Encino quiebra ancha |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Vachellia farnesiana (Acacia farnesiana)* | Huizache |
| Convolvulaceae | Ipomoeeae (Tribu) | *Ipomoea intrapilosa* | Ozote |

**Tabla IV. 3.** Bosque tropical caducifolio

| Familia | Subfamilia/Tribu | Género / Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Asparagaceae | Agavoideae | *Agave angustifolia Haw* | Maguey espadilla, espadín |
| Apocynaceae | Asclepiadoideae | *Sarcostemma pannosum Decae* | Bejuco |
| Bignoniaceae | Tecomene (Tribu) | *Tecoma stans (L.) H.B.K.* | Tronadora, trompeta de oro |
| Malvaceae | Bombacoideae | *Pseudobombax palmeri* | Clavelina |
| Malvaceae | Bombacoideae | *Ceiba aesculifolia (H.B.K.) Britt.* | Algodoncillo, pochote |
| Burseraceae | Bursereae (Tribu) | *Bursera bipinnata (DC.) Engl* | Copal, cuajiote santo |
| Burseraceae | Bursereae (Tribu) | *Bursera fagaroides (H.B.K.) Engl.* | Cuajiote azul |
| Burseraceae | Bursereae (Tribu) | *Bursera multijuga Engl* | Papelillo, cuajiote amarillo |
| Cactaceae | Opuntioideae | *Opuntia atropes Rose* | Nopal |
| Cactaceae | Opuntioideae | *Opuntia fuliginosa Griff.* | Nopal hollín |
| Cactaceae | Opuntioideae | *Opuntia jaliscana Bravo* | Nopal de Jalisco |
| Cactaceae | Cactoideae | *Stenocereus queretaroensis (Weber) Buxb.* | Pitayo cardón |
| Asteraceae | Asteroideae | *Verbesina sphaerocephala A. Gray* | Verbesina |
| Convolvulaceae | Ipomoeae (Tribu) | *Ipomoea intrapilosa Rose* | Palo bobo, casahuate, palo blanco, ozote |
| Euphorbiaceae | Crotonideae | *Croton ciliatoglandulifer* | Salvia, canelilla |
| Euphorbiaceae | Euphorbioideae | *Euphorbia sp.* | Candelilla, hierba de la golondrina |
| Lamiaceae | Nepetoideae | *Hyptis albida H.B.K.* | Chan, confitura, chia |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Acacia farnesiana (L.) Willd* | Huizache |
| Fabaceae | Faboideae | *Crotalaria spp.* | Cascabelillo |
| Fabaceae | Faboideae | *Erythrina sp.* | Colorin |
| Fabaceae | Faboideae | *Eysenhardtia polystachya (Ort.) Sarg.* | Palo dulce, varaduz |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Leucaena esculenta (DC.) Benth.* | Guaje |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Lysiloma acapulcense* | Tepehuaje |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fabaceae | Mimosoideae | *Pithecellobium dulce (Roxb.) Benth.* | Guamuchil |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Prosopis laevigata (Willd.) M.C. Johnst.* | Mezquite, algarrobo |
| Santalaceae | Visceae (Tribu) | *Phoradendron brachystachyum (DC.) Nutt* | Tepalcayo, injerto |
| Loranthaceae | Loranthoideae | *Psittacanthus caliculatus Trel.* | Muerdago |
| Malvaceae | Malvoideae | *Sida spp.* | Malva |
| Moracea | Ficeae (Tibu) | *Ficus sp.* | Higuera, amate |
| Opiliaceae | | *Agonandra recemosa (DC.) Standl.* | Chilillo |
| Solanaceae | Solsnoideae | *Solanum ferrugineum* | Berenjena, toloache |
| Malvaceae | Grewioideae | *Heliocarpus terebinthinaceus (DC.) Hochr.* | Mjahua, circuito |
| Verbenaceae | Lntaneae (Tribu) | *Lantana camara L.* | Cinco negritos |

**Tabla IV. 4.** Bosque y matorral espinoso

| Familia | Subfamilia/Tribu | Género / Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Moracea | Ficeae (Tribu) | *Ficus goldmanii horaliae* | Higuera negra |
| Moracea | Ficeae (Tribu) | *Ficus padifolia* | Camichin |
| Cactaceae | Cactoideae | *Selenicereus ocamponis* | Pitahaya |
| Cactaceae | Cactoideae | *Selenicereus undatus* | Pitahaya |
| Cactaceae | Opuntioideae | *Opuntia jaliscana* | Negrita, Nopal, Nopal de Jalisco, Sangre de toro |
| Cactaceae | Opuntioideae | *Opuntia aff. joconostle* | Xoconostle |
| Cactaceae | Cactoideae | *Stenocereus queretaroensis* | Pitallo cardón |
| Malvaceae | Bytherioideae | *Guazuma ulmifolia* | Guacima, guasimo, majahua |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Mimosa acantholoba var. eurycarpa* | Cola de iguana, mimosa |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Pithecellobium dulce* | Guamuchil |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Prosopis laevigata* | Mezquite, algarrobo |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Prosopis juliflora* | Mezquite, algarrobo |
| Loranthaceae | Psittacanthineae (Tribu) | *Psittacanthus calyculatus* | Injerto de huizache |

**Tabla IV. 5.** Pastizal

| Familia | Subfamilia/Tribu | Género / Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Poaceae | Chloridoideae | *Distichilis spicata* | Huizapol |
| Poaceae | Chloridoideae | *Eragrostis obtusiflora* | Zacate jihuite |
| Cyperaceae | Cyperoideae | *Scirpus americanus* | Junco espadaña |
| Poaceae | Chloridoideae | *Sporobolus pyramidatus* | Zacate madagascar |

**Tabla IV. 6.** Vegetación acuática y subacuática

| Familia | Subfamilia/Tribu | Género / Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Plantaginaceae | Gratioleae (Tribu) | *Bacopa monnieri* | Verdolaga de puerco |
| Ceratophyllaceae | - | *Ceratophyllum demersum* | Mil hojas de agua |
| Characeae | Chareae (Tribu) | *Chara sp* | Chara |
| Cyperaceae | Cyperoideae | *Cyperus sp* | Carrizo, junco |
| Pontederiaceae | - | *Eichhornia crassipes* | Lirio |
| Araliaceae | Hydrocotyloideae | *Hydrocotile verticillata* | Hierba dolar |
| Zingiberaceae | Zingiberoideae | *Hedichium coronarium* | Mariposa, blanca mariposa |
| Araceae | Lemnoideae | *Lemna gibba* | Lenteja de agua |
| Haloragaceae | - | *Myriophyllum sp* | Cola de caballo |
| Nymphaeaceae | - | *Nymphaea sp* | Ninfa |
| Araceae | Aroideae | *Pistia sp* | Lechugilla de agua |
| Poaceae | Arundinoideae | *Phragmites sp* | Carrizo |
| Potamogetonaceae | - | *Potamogeton sp* | Lama |
| Salviniaceae | - | *Salvinia sp* | Orejas de ratón, helecho de agua |
| Lyperaceae | Lyperoideae | *Scirpus sp* | Tule |
| Typhaceae | - | *Typha dominguensis* | Tule, espadaña, cola de gato, junco |

**Tabla IV. 7.** Vegetación semiacuática

| Familia | Subfamilia/Tribu | Género / Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Poaceae | Aristidoideae | *Aristida sp* | Pasto, zacate |
| Poaceae | Aristidoideae | *Aristida ternipens* | Aceitilla |
| Poaceae | Chloridoideae | *Bouteloua repens* | Navajita rastrera |
| Poaceae | Chloridoideae | *Cynodon dactylon* | Gallitos asiáticos, grama, pata de gallo |
| Poaceae | Chloridoideae | *Cynodon pletostachyus* | Estrella africana |
| Poaceae | Chloridoideae | *Hilaria ciliata* | Tempranero anual |
| Poaceae | Panicoideae | *Paspalum notatum* | Pasto estrella |
| Poaceae | Panicoideae | *Antephora hermaphrodita* | Galleta falsa |
| Poaceae | Panicoideae | *Cenchrus incertus* | Abrojo |
| Poaceae | Panicoideae | *Cetaria sp* | Cola de zorra, pega ropa, zacate tempranero |
| Poaceae | Panicoideae | *Chaetium sp* | Grama |
| Poaceae | Panicoideae | *Digitaria sp* | Grama |

**Tabla IV. 8.** Vegetación ruderal

| Familia | Subfamilia/Tribu | Género / Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Poaceae | Chloridoideae | *Chloris virgata* | Barbas de indio, escobilla |
| Poaceae | Panicoideae | *Eriochloa acuminata* | Grama |
| Poaceae | Chloridoideae | *Eragrostis pectinacea* | Pasto, Love grass |
| Poaceae | Panicoideae | *Panicum hirticaule* | Sorgo silvestre, panizo cauchin |
| Poaceae | Panicoideae | *Paspalum erectum* | Zacate-grama |
| Cyperaceae | Cyperoideae | *Cyperus articulatus* | Carricillo |
| Cyperaceae | Cyperoideae | *Cyperus flavescens* | Carrizo, junco |
| Fabaceae | Mimosoideae | *Acacia farnesiana (L.) Willd.* | Huizache |
| Acanthaceae | Acanthoideae | *Tetramerium sp.* | Alfilerillo |
| Boraginaceae | Namoideae | *Wigandia urens (Ruiz & Pavón) H.B.K.* | Ortiga de tierra caliente, mala mujer, ortiga león |

## Anexo V. Especies de fauna

La presente información de fauna corresponde a la identificada para el municipio de Villa Corona, Jalisco, según consulta de la base de datos de la Colección de Vertebrados del Centro de Estudios en Zoología, CUCBA, Universidad de Guadalajara.

**Tabla V. 1.** Reptiles

| Nombre científico | Nombre común | NOM 059 ECOL 2010 (última actualización en 2019) |
|---|---|---|
| *Aspidoscelis communis* | lagartija rayada | Endémica sujeta a protección especial |
| *Aspidoscelis costatus* | lagartija | Endémica sujeta a protección especial |
| *Aspidoscelis septenvittatus* | lagartija | En ninguna Categoría |
| *Sceloporus horridus* | roño | En ninguna Categoría |
| *Urosaurus bicarinatus* | lagartija | En ninguna Categoría |
| *Thamnophis eques* | culebra | No endémica amenazada |

**Tabla V. 2.** Anfibios

| Nombre científico | Nombre común | NOM 059 ECOL 2010 (última actualización en 2019) |
|---|---|---|
| *Rhinella marina* | Sapo | En ninguna Categoría |
| *Lithobates megapoda* | Rana | Endémica sujeta a protección especial |

**Tabla V. 3.** Mamíferos

| Nombre científico | Nombre común | NOM-059-SEMARNAT-2010 |
|---|---|---|
| *Didelphys virginiana* | Tlacuache | En ninguna categoría |
| *Dasypus novemcinctus* | Armadillo | En ninguna categoría |
| *Urocyon cinereoargenteus* | Zorra gris | En ninguna categoría |
| *Canis latrans* | Coyote | En ninguna categoría |
| *Bassariscus astutus* | Cacomixtle | En ninguna categoría |
| *Procyon lotor* | Mapache | En ninguna categoría |
| *Nasua narica* | Tejón o coatí | En ninguna categoría |
| *Neotoma mexicana* | Rata mexicana | En ninguna categoría |
| *Leptonycteris curasoae* | Murciélago | En ninguna categoría |
| *Desmodus rotundus* | Murciélago vampiro | En ninguna categoría |
| *Artibeus jamaicensis* | Murciélago | En ninguna categoría |
| *Tadarida brasiliensis* | Murciélago de cola larga | En ninguna categoría |

**Tabla V. 4.** Aves terrestres y acuáticas

Información recuperada del Informe técnico 2004 - 2005 del Laboratorio Laguna de Sayula, Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias Biológicas y Ambientales, CUCBA, U de G.

| Orden | Familia | No | Nombre científico | Nombre común |
|---|---|---|---|---|
| Anseriformes | Anatidae | 1 | *Dendrocygna autumnalis* | Pato pijije aliblanco |
| Anseriformes | Anatidae | 2 | *Dendrocygna bicolor* | Pato pijije alioscuro |
| Anseriformes | Anatidae | 3 | *Anser caerulescens* | Ganso cerúleo |
| Anseriformes | Anatidae | 4 | *Mareca strepera* | Pato friso |
| Anseriformes | Anatidae | 5 | *Mareca penelope* | Pato silbón |
| Anseriformes | Anatidae | 6 | *Mareca americana* | Pato chalcuán |
| Anseriformes | Anatidae | 7 | *Anas platyrhynchos* | Pato de collar |
| Anseriformes | Anatidae | 8 | *Anas diazi* | Pato altiplanero |
| Anseriformes | Anatidae | 9 | *Spatula discors* | Cerceta aliazul clara |
| Anseriformes | Anatidae | 10 | *Spatula cyanoptera* | Cerceta aliazul café |
| Anseriformes | Anatidae | 11 | *Spatula clypeata* | Pato cucharón |
| Anseriformes | Anatidae | 12 | *Anas acuta* | Pato golondrino |
| Anseriformes | Anatidae | 13 | *Anas crecca* | Cerceta alioscura |
| Anseriformes | Anatidae | 14 | *Aythya valisineria* | Pato coacoxtle |
| Anseriformes | Anatidae | 15 | *Aythya affinis* | Pato boludo menor |
| Anseriformes | Anatidae | 16 | *Bucephala albeola* | Pato monja |
| Anseriformes | Anatidae | 17 | *Oxyura jamaicensis* | Pato rojizo alioscuro |
| Galliformes | Odontophoridae | 18 | *Colinus virginianus* | Codorniz cotuí norteña |
| Podicipediformes | Podicipedidae | 19 | *Tachybaptus dominicus* | Zambullidor menor |
| Podicipediformes | Podicipedidae | 20 | *Podilymbus podiceps* | Zambullidor piquigrueso |
| Podicipediformes | Podicipedidae | 21 | *Podiceps nigricollis* | Zambullidor orejudo |
| Pelecaniformes | Pelecanidae | 22 | *Pelecanus erythrorhynchos* | Pelícano blanco |
| Suliformes | Phalacrocoracidae | 23 | *Phalacrocorax brasilianus* | Cormorán neotropical |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 24 | *Botaurus lentiginosus* | Garza norteña del tular |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 25 | *Ixobrychus exilis* | Avetorito americano |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Pelecaniformes | Ardeidae | 26 | *Ardea herodias* | Garzón cenizo |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 27 | *Ardea alba* | Garzón blanco |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 28 | *Egretta thula* | Garza dedos dorados |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 29 | *Egretta caerulea* | Garza azul |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 30 | *Egretta tricolor* | Garza ventriblanca |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 31 | *Bubulcus ibis* | Garza ganadera |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 32 | *Butorides virescens* | Garcita oscura |
| Pelecaniformes | Ardeidae | 33 | *Nycticorax nycticorax* | Garza nocturna coro-ninegra |
| Pelecaniformes | Threskiornithidae | 34 | *Plegadis chihi* | Ibis oscuro |
| Pelecaniformes | Threskiornithidae | 35 | *Platalea ajaja* | Espátula rosada |
| Ciconiiformes | Ciconiidae | 36 | *Mycteria americana* | Cigüeña americana |
| Cathartiformes | Cathartidae | 37 | *Coragyps atratus* | Carroñero común |
| Cathartiformes | Cathartidae | 38 | *Cathartes aura* | Aura común |
| Accipitriformes | Pandionidae | 39 | *Pandion haliaetus* | Águila pescadora |
| Accipitriformes | Accipitridae | 40 | *Elanus leucurus* | Milano coliblanco |
| Accipitriformes | Accipitridae | 41 | *Parabuteo unicinctus* | Aguililla rojinegra |
| Accipitriformes | Accipitridae | 42 | *Rupornis magnirostris* | Aguililla caminera |
| Accipitriformes | Accipitridae | 43 | *Geranoaetus albicaudatus* | Aguililla coliblanca |
| Accipitriformes | Accipitridae | 44 | *Buteo albonotatus* | Aguililla aura |
| Accipitriformes | Accipitridae | 45 | *Buteo jamaicensis* | Aguililla colirrufa |
| Falconiformes | Falconidae | 46 | *Caracara cheriway* | Caracara común |
| Falconiformes | Falconidae | 47 | *Falco sparverius* | Halcón cernícalo |
| Falconiformes | Falconidae | 48 | *Falco peregrinus* | Halcón peregrino |
| Falconiformes | Falconidae | 49 | *Falco mexicanus* | Halcón pálido |
| Gruiformes | Rallidae | 50 | *Rallus limicola* | Ralo barrado rojizo |
| Gruiformes | Rallidae | 51 | *Porzana carolina* | Ralo barrado grisáceo |
| Gruiformes | Rallidae | 52 | *Porphyrio martinica* | Gallareta morada |
| Gruiformes | Rallidae | 53 | *Gallinula chloropus* | Gallareta frentirroja |
| Gruiformes | Rallidae | 54 | *Fulica americana* | Gallareta americana |
| Charadriiformes | Charadriidae | 55 | *Pluvialis squatarola* | Chorlo gris |
| Charadriiformes | Charadriidae | 56 | *Charadrius nivosus* | Chorlito nevado |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Charadriiformes | Charadriidae | 57 | Charadrius semipalmatus | Chorlito semipalmeado |
| Charadriiformes | Charadriidae | 58 | *Charadrius vociferus* | Chorlito tildío |
| Charadriiformes | Recurvirostridae | 59 | *Himantopus mexicanus* | Avoceta piquirrecta |
| Charadriiformes | Recurvirostridae | 60 | *Recurvirostra americana* | Avoceta piquicurva |
| Charadriiformes | Jacanidae | 61 | *Jacana spinosa* | Jacana centroamericana |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 62 | *Tringa flavipes* | Patamarilla menor |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 63 | *Tringa solitaria* | Playero charquero |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 64 | *Catroptophorus semipalmata* | Playero pihuihui |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 65 | *Actitis macularius* | Playerito alzacolita |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 66 | *Numenius americanus* | Zarapito piquilargo |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 67 | *Calidris mauri* | Playerito occidental |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 68 | *Calidris minutilla* | Playerito mínimo |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 69 | *Calidris bairdii* | Playerito de baird |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 70 | *Calidris melanotos* | Playero pechirrayado |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 71 | *Limnodromus scolopaceus* | Costurero de agua dulce |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 72 | *Gallinago gallinago* | Agachona común |
| Charadriiformes | Scolopacidae | 73 | *Phalaropus tricolor* | Faláropo piquilargo |
| Charadriiformes | Laridae | 74 | *Leucophaeus atricilla* | Gaviota atricila |
| Charadriiformes | Laridae | 75 | *Larus delawarensis* | Gaviota de delaware |
| Charadriiformes | Laridae | 76 | *Rissa tridactyla* | Gaviota tridáctila |
| Charadriiformes | Laridae | 77 | *Hydroprogne caspia* | Golondrina marina grande piquirroja |
| Charadriiformes | Laridae | 78 | *Sterna forsteri* | Golondrina marina de Forster |
| Charadriiformes | Laridae | 79 | *Chlidonias niger* | Golondrina marina negruzca |
| Columbiformes | Columbidae | 80 | *Zenaida asiática* | Paloma aliblanca |
| Columbiformes | Columbidae | 81 | *Zenaida macroura* | Paloma huilota |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Columbiformes | Columbidae | 82 | *Columbina inca* | Tórtola colilarga |
| Columbiformes | Columbidae | 83 | *Columbina passerina* | Tortolita pechipunteada |
| Cuculiformes | Cuculidae | 84 | *Geococcyx velox* | Correcaminos tropical |
| Cuculiformes | Cuculidae | 85 | *Crotophaga sulcirostris* | Garrapatero pijuy |
| Strigiformes | Tytonidae | 86 | *Tyto alba* | Lechuza de campanario |
| Strigiformes | Strigidae | 87 | *Athene cunicularia* | Tecolote zancón |
| Caprimulgiformes | Caprimulgidae | 88 | *Chordeiles acutipennis* | Chotacabra halcón |
| Caprimulgiformes | Caprimulgidae | 89 | *Chordeiles minor* | Chotacabra zumbón |
| Caprimulgiformes | Apodidae | 90 | *Streptoprocne semicollaris* | Vencejo nuquiblanco |
| Caprimulgiformes | Apodidae | 91 | *Aeronautes saxatalis* | Vencejo gorgiblanco |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 92 | *Colibri thalassinus* | Chupaflor orejivioleta verde |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 93 | *Cynanthus sordidus* | Colibrí sórdido |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 94 | *Amazilia rutila* | Amazilia canela |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 95 | *Amazilia violiceps* | Amazilia occidental |
| Caprimulgiformes | Trochilidae | 96 | *Heliomaster constantii* | Heliomáster flanquigrís |
| Coraciiformes | Alcedinidae | 97 | *Ceryle alcyon* | Martín pescador norteño |
| Coraciiformes | Alcedinidae | 98 | *Chloroceryle americana* | Martín pescador verde |
| Piciformes | Picidae | 99 | *Melanerpes aurifrons* | Carpintero pechileonado común |
| Piciformes | Picidae | 100 | *Dryobates scalaris* | Carpinterillo mexicano |
| Passeriformes | Tyrannidae | 101 | *Camptostoma imberbe* | Mosquerito silbador |
| Passeriformes | Tyrannidae | 102 | *Sayornis nigricans* | Mosquero negro |
| Passeriformes | Tyrannidae | 103 | *Sayornis saya* | Mosquero llanero |
| Passeriformes | Tyrannidae | 104 | *Pyrocephalus rubinus* | Mosquero cardenalito |
| Passeriformes | Tyrannidae | 105 | *Myiarchus tyrannulus* | Papamoscas copetón tiranillo |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Passeriformes | Tyrannidae | 106 | *Pitangus sulphuratus* | Luis bienteveo |
| Passeriformes | Tyrannidae | 107 | *Megarynchus pitangua* | Luis piquigrueso |
| Passeriformes | Tyrannidae | 108 | *Tyrannus melancholicus* | Tirano tropical común |
| Passeriformes | Tyrannidae | 109 | *Tyrannus vociferans* | Tirano gritón |
| Passeriformes | Laniidae | 110 | *Lanius ludovicianus* | Verdugo americano |
| Passeriformes | Vireonidae | 111 | *Vireo bellii* | Vireo de Bell |
| Passeriformes | Vireonidae | 112 | *Vireo olivaceus* | Vireo ojirrojo tropical |
| Passeriformes | Corvidae | 113 | *Corvus corax* | Cuervo común |
| Passeriformes | Alaudidae | 114 | *Eremophila alpestris* | Alondra cornuda |
| Passeriformes | Hirundinidae | 115 | *Progne chalybea* | Golondrina grande pechipálida |
| Passeriformes | Hirundinidae | 116 | *Tachycineta bicolor* | Golondrina canadiense |
| Passeriformes | Hirundinidae | 117 | *Petrochelidon pyrrhonota* | Golondrina risquera |
| Passeriformes | Hirundinidae | 118 | *Hirundo rustica* | Golondrina tijereta |
| Passeriformes | Aegithalidae | 119 | *Psaltriparus minimus* | Sastrecillo |
| Passeriformes | Troglodytidae | 120 | *Catherpes mexicanus* | Saltaparedes |
| Passeriformes | Troglodytidae | 122 | *Cistothorus palustris* | Saltapared pantanero piquilargo |
| Passeriformes | Polioptilidae | 123 | *Polioptila caerulea* | Perlita piis |
| Passeriformes | Turdidae | 124 | *Turdus rufopalliatus* | Zorzal dorsicanelo |
| Passeriformes | Mimidae | 125 | *Mimus polyglottos* | Cenzontle aliblanco |
| Passeriformes | Mimidae | 126 | *Toxostoma curvirostre* | Cuitlacoche común |
| Passeriformes | Mimidae | 127 | *Melanotis caerulescens* | Mulato común |
| Passeriformes | Bombycillidae | 128 | *Bombycilla cedrorum* | Chinito |
| Passeriformes | Parulidae | 129 | *Vermivora celata* | Chipe celato |
| Passeriformes | Parulidae | 130 | *Vermivora luciae* | Chipe rabadillicastaño |
| Passeriformes | Parulidae | 131 | *Mniotilta varia* | Chipe trepador |
| Passeriformes | Parulidae | 132 | *Oporornis tolmiei* | Chipe cabecigrís de Tolmie |
| Passeriformes | Parulidae | 133 | *Geothlypis trichas* | Mascarita norteña |
| Passeriformes | Icteriidae | 134 | *Icteria virens* | Chipe piquigrueso |
| Passeriformes | Thraupidae | 135 | *Volatinia jacarina* | Semillerito brincador |
| Passeriformes | Thraupidae | 136 | *Sporophila torqueola* | Semillerito collarejo |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Passeriformes | Passerellidae | 137 | *Melozone kieneri* | Rascadorcito coronirrufo |
| Passeriformes | Passerellidae | 138 | *Melozone fusca* | Rascador pardo |
| Passeriformes | Passerellidae | 139 | *Chondestes grammacus* | Gorrión arlequín |
| Passeriformes | Cardinalidae | 140 | *Pheucticus melanocephalus* | Picogrueso pechicafé |
| Passeriformes | Cardinalidae | 141 | *Passerina caerulea* | Picogrueso azul |
| Passeriformes | Cardinalidae | 142 | *Passerina versicolor* | Colorín oscuro |
| Passeriformes | Cardinalidae | 143 | *Passerina ciris* | Colorín sietecolores |
| Passeriformes | Icteridae | 144 | *Agelaius phoeniceus* | Tordo sargento |
| Passeriformes | Icteridae | 145 | *Sturnella neglecta* | Pradero gorgeador |
| Passeriformes | Icteridae | 146 | *Xanthocephalus xanthocephalus* | Tordo cabeciamarillo |
| Passeriformes | Icteridae | 147 | *Euphagus cyanocephalus* | Tordo ojos amarillos |
| Passeriformes | Icteridae | 148 | *Quiscalus mexicanus* | Zanate mexicano |
| Passeriformes | Icteridae | 149 | *Molothrus aeneus* | Tordo ojirojo |
| Passeriformes | Icteridae | 150 | *Molothrus ater* | Tordo cabecicafé |
| Passeriformes | Icteridae | 151 | *Icterus wagleri* | Bolsero de Wagler |
| Passeriformes | Icteridae | 152 | *Icterus spurius* | Bolsero castaño |
| Passeriformes | Icteridae | 153 | *Icterus cucullatus* | Bolsero cuculado |
| Passeriformes | Icteridae | 154 | *Icterus pustulatus* | Bolsero pustulado |
| Passeriformes | Fringillidae | 155 | *Carpodacus mexicanus* | Carpodaco doméstico |
| Passeriformes | Fringillidae | 156 | *Spinus psaltria* | Jilguero dorsioscuro |
| Passeriformes | Passeridae | 157 | *Passer domesticus* | Gorrión doméstico |
| Podicipediformes | Podicipedidae | 158 | *Aechmophorus clarkii* | Zambullidor de Clarck |

## Anexo VI. Registro de avistamiento de aves en el periodo 2020-2021

Para el registro de las aves en la Laguna de Atotonilco se han llevado a cabo cinco campañas de avistamiento. Las fechas de salida de cada campaña se muestran en la Tabla IV.1. En la Figura IV.1 se muestra la localización geográfica de cada punto de observación seleccionado en las inmediaciones de la laguna. En la Tabla IV.1 se muestran las fechas y la localización geográfica de los puntos seleccionados para los avistamientos. En la Figura IV.3 se identifican las especies de aves y número de individuos de cada especie observadas durante las campañas de avistamiento en la Laguna de Atotonilco.

**Tabla VI. 1.** Campañas de observación de especies de aves en la Laguna de Atotonilco en el periodo de octubre del 2020 a febrero del 2021

| Campaña de observación | Fecha de inicio | Días de observación | Número de especies observadas | Número de individuos observados | Distancia recorrida km |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10/10/2020 | 1 | 28 | 1,095 | 29 |
| 2 | 05/11/2020 | 2 | 121 | 1,969 | 16 |
| 3 | 20/11/2020 | 2 | 89 | 1,594 | 14 |
| 4 | 09/01/2021 | 2 | 46 | 514 | 16 |
| 5 | 01/02/2021 | 1 | 52 | 396 | 3 |

**Figura VI. 1.** Localización de los puntos de observación seleccionados para el avistamiento de aves en la Laguna de Atotonilco
(Fuente: G. Barba-Calvillo, 2021, elaboración propia)

La siguiente tabla muestra los puntos de referencia geográfica seleccionados para la observación de las aves en la Laguna de Atotonilco.

**Tabla VI. 2.** Fechas y localización geográfica de los puntos seleccionados para el avistamiento de aves

| 1<br>09 al 11<br>octubre 2020 | 2<br>05 al 07<br>noviembre 2020 | 3<br>20 y 21<br>noviembre 2020 | 4<br>09 al 11 enero 2021 | 5<br>20 de febrero 2021 |
|---|---|---|---|---|
| 10 octubre: | 05-nov | 20-nov | 09-ene | Puntos: |
| | | 20°22'544.63 "N<br>103° 39´28.11"W | | 20°24´22.51" N<br>103°40´20.88" W |
| Puntos: | Puntos: | 1352/09:00 | Puntos: | 1358/07:30 |
| 20°24´534"N<br>103°39´853"W<br>1356/07:15 | 20°24´29.87"N<br>103°40,6´51"W<br>1356/16:00 | | 20°23´19.38"N<br>103°38´55.10W<br>1355/9:00 | |
| | | 20°22´8,78"<br>N/103°39´39.46" W<br>1352 / 12:00 | | 20°24´5.79" N |
| 20°24´532"<br>N/103°39´645" W<br>1352/8:30 | 06-nov | | 20°22´36.16" N<br>103°38´34.61" W | 103°40´25.28" W |
| | 20°24'32'80" N<br>103°40´35.20" W<br>1352/07:00 | 20°21´11.30" N<br>103°39´44.83" W | 1355 / 12:00 | 1358 / 09:00 |
| 20°24´643"<br>N/103°39´671" W<br>1352 / 09:06 | | 1352 / 15:00 | | |
| | 20°23´56.89"<br>N/103°40´28.16"W<br>1352 / 11:00 | | 20°21´58.06" N<br>/103°38´8.68" W 1354<br>/ 15:00 | 20°23´39.67" N |
| 20°24´436"<br>N/103°39´529" W<br>1352 / 10:11 | | Final Bocacalle límite<br>Laguna zona de playa en<br>Atotonilco el Bajo. | | 103°40´2.90" W |
| | 20°23´23.19" N<br>103°40´19.28" W<br>1352/15:00 | | Distancia<br>aproximada: 06 km | 1358 / 11:30 |
| 20°24´816" N/<br>103°38´013" W | | Distancia aprox. 08 Km | | |
| 1361 / 18:00 | | | 10-ene | 20°23´17.04" N |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 21-nov | 20º24´11.17” N/103º39´20.56” W 1351 / 06:00 | 103º40´5.15” W |
| | | Puntos: | | |
| Final (Arte C) | | 20º21´39.09” N/ 103º39´53.71” W | | 1358 / 14:00 |
| | | 1352 / 07:30 | 20º23´33.92” N/103º39´25.82” W 1354 /11:00 | |
| | | | | 20º23´0.37” N |
| | | 20º20´53.74” N/103º39´14.95” W 1352 / 11:00 | 20º22’50.37” N /103º38´55.34” W | 103º39´52.35 W |
| | | | 1354 / 13:00 | 1352 / 17:00 |
| | | 20º20´36.81” N/103º38´42.87” W | | |
| | | 1352 / 15:00 | 20º24´20.92” N/103º39´58.10” W 1354 / 17:00 | |
| | | Final: Distancia aprox. 06 km | Distancia aproximada 10 km | |
| **Distancia recorrida total: 29 km** | **Distancia recorrida total: 16 km** | **Distancia recorrida total: 14 km** | **Distancia recorrida total: 16 km** | **Distancia recorrida total: 03 km** |

**Tabla VI. 3.** Identificación de especies de aves y número de individuos de cada especie observadas durante las campañas de avistamiento en la laguna

| No | Especie | Nombre común | 1<br>10-oct-20 | 2<br>05 al 07 nov. 2020 | 3<br>20 y 21 nov. 2020 | 4<br>09 al 11 enero 2021 | 5<br>20 febrero 2021 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | *Dendrocygna autumnalis* | Pato pijije aliblanco | 04/ 20°24´436" N 103°39´529" W | 16/20°24´29.87" N 103°40,6´51" W<br>07/20°23´56.89" N 103°40´2.16´´W<br>05/20°23´23.19" N 103°40´19.28" W | 04/20°22´54.63" N 10°39´28.11" W<br>08/20°21´11.30" N 103°39´44.83" W<br>04/20°20´36.81" N 103°38´42.87" W<br>05/20°20´53.74" N 103°39´14.95" W | 06/20°22´36.16" N 103°38´34.61" W<br>05/20°22'50.37" N 103°38´55.34" W | 13/20°24´22.51" N 03°40´20.88" W<br>103°40´2.90" W |
| **2** | *Dendrocygna bicolor* | Pato pijije alioscuro | **06** / 20°24´436" N 103°39´529" W | **09/** 20°24´29.87" N 103°40,6´51" W<br>**12/** 20°24'32'80" N 103°40´35.20" W<br>**04/** 20°23´56.89" N 103°40´28.16´´W | **11/** 20°22´8,78" N 103°39´39.46" W<br>**06/** 20°21´11.30"N 103°39´44.83"W<br>**16/** 20°21´39.09"N 103°39´53.71"W | **12/** 20°23´18.38"N 103°38´55.10W<br>**07/** 20°23´33.92"N 103°39´25.82"W | **07/** 20°23´0.37"N 103°39´52.35"W |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | *Anser caerulescens (Chen caerulescens)* | Ganso Blanco (cerúleo) | 46/<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | 12/<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W<br>22/<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W | | 08/<br>20°24´22.51”N<br>103°40´20.88” W |
| **4** | *Mareca strepera (Anas strepera)* | Pato Friso | **03/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | **05/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | | |
| **5** | *Anas penelope* | Pato Silbón | | **01/**<br>**2**0°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W | | |
| **6** | *Mareca americana (Anas americana)* | Pato Chalcuán | **02/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | **04/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | **01/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W | |
| **7** | *Anas platyrhynchos* | Pato Norteño (de collar) | | **02/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W | | |
| **8** | *Anas diazi* | Pato Mexicano (altiplanero) | **08/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>**04/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | **05/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W<br>**03/**<br>20°22´8,78” N<br>103°39´39.46” W | | **01/**<br>**20°24´22.51”N**<br>**103°40´20.88” W** |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | *Spatula discors (Anas discors)* | Cerceta Alas Azules | 06/ 20°24´534" N 103°39´853" W | 07 /20°24´29.87"N 103°40,6´51"W<br>03/ 20°24'32'80"N 103°40´35.20"W<br>12/ 20°23´56.89"N 103°40´28.16´W | 04/ 20°22´54.63"N 103°39´28.11"W<br>04/ 20°22´54.63"N 103°39´28.11"W<br>03/ 20°20´53.74"N 103°39´14.95"W | 06/ 20°23´18.38"N 103°38´55.10W<br>05/ 20°24´11.17"N 103°39´20.56"W | |
| 10 | *Anas cyanoptera* | Cerceta Canela | 24/ 20°24´534"N 103°39´853"W | 19 /20°24´29.87"N 103°40,6´51"W<br>06/ 20°24'32'80"N 103°40´35.20"W<br>08/ 20°23´56.89"N 103°40´28.16"W<br>04/ 20°23´23.19"N 103°40´19.28"W | 09/ 20°22´54.63"N 103°39´28.11"W<br>06/ 20°22´8,78" N 103°39´39.46" W | 05/ 20°23´18.38"N 103°38´55.10W<br>03/ 20°21´58.06"N 103°38´8.68"W | |
| 11 | *Spatula clypeata (Anas clypeata)* | Pato cucharón Norteño | 45/ 20°24´436" N 103°39´529" W<br>500/ 20°24´436" N 103°39´529" W<br>23/ 20°24´436"N 103°39´529"W | 33 /20°24´29.87"N 103°40,6´51"W<br>120/ 20°24´32´80"N 103°39´35.20"W<br>45/ 20°23´56.89"N 103°40´28.16"W<br>**06/** 20°23´23.19"N 103°40´19.28"W | 18/ 20°22´54.63"N 103°39´28.11"W<br>07/ 20°20´36.81"N 103°38´42.87"W<br>12/ 20°20´53.74"N 103°39´14.95"W | 12/ 20°23´18.38"N 103°38´55.10W<br>04/ 20°24´11.17"N 103°39´20.56"W | 07/ 20°24´22.51"N 103°40´20.88" W |
| 12 | *Anas acuta* | Pato Golondrino | | **04** /20°24´29.87"N 103°40,6´51"W<br>**06/** 20°23´56.89"N 103°40´28.16´W | **03/** 20°22´8,78" N 103°39´39.46" W | | **01/** 20°24´5.79" N 103°40´25.28" W |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **04/**<br>20°24´436” N<br>103°39´529”W | **05 /**<br>20°24´29.87” N<br>103°40,6´51” W | **22/**<br>20°22´54.63” N<br>103°39´28.11” W | **03/**<br>20°22’50.37” N<br>103°38´55.34” W | |
| 13 | *Anas crecca* | Cerceta Alas Verdes | | **08/**<br>20°24’32’80” N<br>103°40´35.20” W | **06/**<br>20°21´39.09” N<br>103°39´53.71” W | **12/**<br>20°24´20.92”N<br>103°39´58.10”W | |
| | | | **02/**<br>20°24´436” N<br>103°39´529 W | **04/**<br>20°23´56.89” N<br>103°40´28.16´W | | | |
| 14 | *Aythya valisineria* | Pato Coacoxtle | | **01/**<br>20°23´56.89” N<br>103°40´28.16´W | | | |
| 15 | *Aythya affinis* | Pato Boludo Menor | | **01/**<br>20°24´29.87” N<br>103°40,6´51” W | | | |
| 16 | *Bucephala albeola* | Pato Monja | | **01/**<br>20°24´29.87” N<br>103°40,6´51” W | | | |
| | | | | **03/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | **04/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W | **02/**<br>20°22´36.16”N<br>103°38´34.61”W | **05/**<br>20°23´17.04”N<br>103°40´5.15” W |
| 17 | *Oxyura jamaicensis* | Pato Tepalcate (rojizo alioscuro) | | **04/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | **05/**<br>20°24´39.09”N<br>103°39´53.71”W | | |
| | | | | **03/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | **01/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | | |
| 18 | *Colinus virginianus* | Codorniz Cotuí (norteña) | | | **01/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | *Tachybaptus dominicus* | Zambullidor Menor Protección Especial NOM-059-SEMARNAT-2010 | | **01/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W<br>**02/** 20º23´56.89”N 103º40´28.16¨W | | | |
| 20 | *Podilymbus podiceps* | Zambullidor Pico Grueso | **02/** 20º23´56.89”N 103º40´28.16¨W | **06/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W<br>**12/** 20º24’32’80”N 103º40´35.20”W<br>**08/** 20º23´56.89”N 103º40´28.16”W<br>**02/** 20º23´23.19”N 103º40´19.28”W | **04/** 20º22´54.63”N 103º39´28.11”W<br>**01/** 20º22´8,78” N 103º39´39.46” W | **01/** 20º23´18.38”N 103º38´55.10W | |
| 21 | *Podiceps nigricollis* | Zambullidor Orejón | | **01/** 20º24’32’80”N 103º40´35.20”W | **01/** 20º20´53.74”N 103º39´14.95”W (?) | | **01/** 20º24´22.51”N 103º40´20.88” W |
| 22 | *Pelecanus erythrorhynchos* | Pelícano Blanco Americano | | **16/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W<br>**10/** 20º24’32’80”N 103º40´35.20"W<br>**06/** 20º23´56.89"N 103º40´28.16"W | **08/** 20º22´8,78” N 103º39´39.46” W<br>**05/** 20º20´36.81”N 103º38´42.87”W | | **04/** 20º23´39.67”N 103º40´2.90” W |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **08/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | **09/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W | | |
| 23 | *Phalacrocorax brasilianus* | Cormorán Neotropical | | **11/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**04/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | **07/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W | | **04/**<br>20°23´17.04”N<br>103°40´5.15” W |
| 24 | *Botaurus lentiginosus* | Avetoro Norteño (Garza Norteña del Tular) | | **01/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | | | |
| 25 | *Ixobrychus exilis* | Avetoro Menor | | | | | |
| 26 | *Ardea herodias* | Garza Morena (Garzón cenizo) | **02/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529”W | **05/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**08/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**04/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16¨W | **03/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W<br>**01/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | **01/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W<br>**02/**<br>20°24´11.17”N<br>103°39´20.56”W | |
| 27 | *Ardea alba* | Garza Blanca | **16/**<br>20°24´534” N<br>103°39´853”W<br>**01/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529”W | **12/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**16/**<br>20°24’32’80” N<br>103°40´35.20” W | **08/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W<br>**03/**<br>20°22´8,78”N<br>103°39´39.46”W | **04/**<br>20°22´36.16”N<br>103°38´34.61”W<br>**02/**<br>20°23´33.92”N<br>103°39´25.82”W | **02/**<br>20°24´22.51”N<br>103°40´20.88”W |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **08/**<br>20°23´56.89” N<br>103°40´28.16” W<br>**04/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28” W | **02/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W<br>**04/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | **01/**<br>20°22’50.37”N<br>103°38´55.34”W | |
| 28 | *Egretta thula* | Garza Dedos Dorados | **06/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529”W | **07/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | **13/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W | | |
| | | | | **08/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | **02/**<br>20°20´36.81”N<br>103°38´42.87”W | **05/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W | **03/**<br>20°24´22.51”N<br>103°40´20.88”W |
| | | | | **04/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16´W | **02/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | | |
| 29 | *Egretta caerulea* | Garza Azul | | **02/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | **01/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W | | **01/**<br>20°23´39.67”N<br>103°40´2.90”W |
| 30 | *Egretta tricolor* | Garza Tricolor (ventriblanca) | | **01/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | | | |
| | | | | **01/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | | **01/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W | |
| | | | | **03/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | | | |
| 31 | *Bubulcus ibis* | Garza Ganadera | **08/**<br>20°24´534”N<br>103°39´853”W | **12/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**08/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | **22/**<br>**20°22´54.63”N**<br>**103°39´28.11”W**<br>**04/**<br>20°22´8,78” N<br>103°39´39.46”W | **08/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W<br>**07/**<br>20°21´58.06”N<br>103°38´8.68”W | **06/**<br>20°24´22.51”N<br>103°40´20.88”W |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **06/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>**07/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | **05/**<br>20°20´36.81”N<br>103°38´42.87”W | **02/**<br>20°23´33.92”N<br>103°39´25.82”W | |
| 32 | *Butorides virescens* | Garcita Verde | | **01/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16´W | | | |
| 33 | *Nycticorax nycticorax* | Garza Nocturna Corona Negra | | **04/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**02/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**03/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16´W | **05/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W<br>**01/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W | **01/**<br>20°24´11.17”N<br>103°39´20.56”W<br>**01/**<br>20°24´20.92”N<br>103°39´58.10”W | |
| 34 | *Plegadis chihi* | Ibis Ojos Rojos (oscuro) | **04/**<br>20°24´534”N<br>103°39´853” W<br>**08/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529”W | **09/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**16/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**10/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>**21/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | **08/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W<br>**06/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W<br>**03/**<br>20°20´36.81”N<br>103°38´42.87”W<br>**04/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | **06/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W | **08/**<br>20°23´39.67”N<br>103°40´2.90”W |
| 35 | *Platalea ajaja* | Espátula Rosada | | **05/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**08/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | **02/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W | | **03/**<br>20°24´22.51”N<br>103°40´20.88”W |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **02/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | | | |
| 36 | *Mycteria americana* | Cigüeña Americana | **04/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**02/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | **01/**<br>20°22´8,78”N<br>103°39´39.46”W | **01/**<br>20°22’50.37”N<br>103°38´55.34”W | |
| 37 | *Coragyps atratus* | Zopilote Común | **02/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**08/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16¨W | **01/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | **02/**<br>20°24´11.17”N<br>103°39´20.56”W | |
| 38 | *Cathartes aura* | Zopilote Aura | **09/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**02/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>**03/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | **05/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W<br>**06/**<br>20°21´11.30”N<br>103°39´44.83”W<br>**01/**<br>20°20´36.81”N<br>103°38´42.87”W | | **01/**<br>20°23´17.04”N<br>103°40´5.15”W |
| 39 | *Pandion haliaetus* | Águila Pescadora | **01/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | | | **01/**<br>20°24´22.51”N<br>103°40´20.88”W |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | *Elanus leucurus* | Milano Cola Blanca | | **01/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | | |
| 41 | *Parabuteo unicinctus* | Aguililla Rojinegra | | **01/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | | |
| 42 | *Rupornis magnirostris* | Aguililla Caminera | | **01/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16¨W | **01/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W | |
| 43 | *Geranoaetus albicaudatus (Buteo albicaudatus)* | Aguililla Cola Blanca | | **01/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | | |
| 44 | *Buteo albonotatus* | Aguililla Aura | | **01/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | | |
| 45 | *Buteo jamaicensis* | Aguililla Cola Roja | **01/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529” W | **01/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**01/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W<br>**04/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | **03/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W | **01/**<br>20°24´22.51”N<br>103°40´20.88”W |
| 46 | *Caracara cheriway* | Caracara Quebrantahuesos | | **01/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**02/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16¨W | **01/**<br>20°20´36.81”N<br>103°38´42.87”W | **02/**<br>20°23´39.67”N<br>103°40´2.90”W |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 47 | *Falco sparverius* | Cernícalo Americano (Halcón cernícalo) | | **01/**<br>20º24´29.87”N<br>103º40,6´51”W | | **01/**<br>20º22´36.16”N<br>103º38´34.61”W | **01/**<br>20º24´22.51”N<br>103º40´20.88”W |
| 48 | *Falco peregrinus* | Halcón Peregrino<br>Protección especial NOM 059-SEMARNAT-2010 | | | **01/**<br>20º20´36.81”N<br>103º38´42.87”W | | |
| 49 | *Porphyrio martinica* | Gallareta Morada | | **01/**<br>20º24’32’80”N<br>103º40´35.20”W<br>**01/**<br>20º23´56.89”N<br>103º40´28.16´W | | **01/**<br>20º22´36.16”N<br>103º38´34.61”W | |
| 50 | *Gallinula chloropus* | Gallineta Común (Gallareta Frentirroja) | **02/**<br>20°24´436” N<br>103°39´529” W | **01/**<br>20º24´29.87”N<br>103º40,6´51”W | **01/**<br>20º22´8,78”N<br>103º39´39.46”W | | |
| 51 | *Fulica americana* | Gallareta Americana | **12/**<br>20°24´534”N<br>103°39´853”W<br>**200/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529”W | **23/**<br>20º24´29.87”N<br>103º40,6´51”W<br>**44/**<br>20º24’32’80”N<br>103º40´35.20”W<br>**12/**<br>20º23´56.89”N<br>103º40´28.16”W<br>**09/**<br>20º23´23.19”N<br>103º40´19.28”W | **13/**<br>20º22´54.63”N<br>103º39´28.11”W<br>**16/**<br>20º21´39.09”N<br>103º39´53.71”W<br>**04/**<br>20º20´36.81”N<br>103º38´42.87”W<br>**05/**<br>20º20´53.74”N<br>103º39´14.95”W | **06/**<br>20º23´18.38”N<br>103º38´55.10W<br>**10/**<br>20º24´11.17”N<br>103º39´20.56”W | |
| 52 | *Pluvialis squatarola* | Chorlo Gris | | | **07/**<br>20º22´8,78”N<br>103º39´39.46”W | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 53 | *Charadrius alexandrinus* | Chorlitejo Patinegro (Chorlito Alejandrino) | | **03/**<br>20°24'32'80''N<br>103°40´35.20''W | | | |
| 54 | *Charadrius semipalmatus* | Chorlito Semipalmeado | | **02/**<br>20°24´29.87''N<br>103°40,6´51''W | | | **01/**<br>20°23´0.37''N<br>03°39´52.35''W |
| 55 | *Charadrius vociferus* | Chorlito Tildío | **04/**<br>20°24´747''N<br>103°40´161'' W<br>**08/**<br>20°24´534''N<br>103°39´853'' W | **18/**<br>20°24´29.87''N<br>103°40,6´51''W<br>**16/**<br>20°24'32'80''N<br>103°40´35.20''W<br>**09/**<br>20°23´56.89''N<br>103°40´28.16''W<br>**12/**<br>20°23´23.19''N<br>103°40´19.28''W<br>**10/**<br>20°24´29.87''N<br>103°40,6´51''W | **09/**<br>20°22´54.63''N<br>103°39´28.11''W<br>**03/**<br>20°21´11.30''N<br>103°39´44.83''W<br>**07/**<br>20°21´39.09''N<br>103°39´53.71''W<br>**06/**<br>20°20´53.74''N<br>103°39´14.95''W<br>**18/**<br>20°22´54.63''N<br>103°39´28.11''W | | **09/**<br>20°24´22.51''N<br>103°40´20.88''W |
| 56 | *Himantopus mexicanus* | Monjita Americana (Avoceta piquirrecta) | **12/**<br>20°24´534''N<br>103°39´853'' W | **23/**<br>20°24'32'80''N<br>103°40´35.20''W<br>**12/**<br>20°23´56.89''N<br>103°40´28.16´W<br>**12/**<br>20°24´29.87''N<br>103°40,6´51''W | **06/**<br>20°20´36.81''N<br>103°38´42.87''W | **14/**<br>20°23´33.92''N<br>103°39´25.82''W | **07/**<br>20°23´17.04''N<br>103°40´5.15''W |
| 57 | *Recurvirostra americana* | Avoceta Americana (piquicurva) | **08/**<br>20°24´534''N<br>103°39´853''W | **07/**<br>20°24'32'80''N<br>103°40´35.20''W<br>**09/**<br>20°23´56.89''N<br>103°40´28.16´W | **06/**<br>20°21´39.09''N<br>103°39´53.71''W | **06/**<br>20°22'50.37''N<br>103°38´55.34''W | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **04/**<br>20°24´532”N<br>103°39´645”W | **06/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | **01/**<br>20°21´11.30”N<br>103°39´44.83”W | |
| 58 | *Jacana spinosa* | Jacana Norteña (centroamericana) | **01/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529”W | **03/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**02/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | **01/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | **01/**<br>20°22´36.16”N<br>103°38´34.61”W |
| 59 | *Tringa flavipes* | Patamarilla Menor | | **01/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>**01/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | | **01/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W |
| 60 | *Tringa solitaria* | Playero Solitario (charquero) | | **01/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16´W | | |
| 61 | *Catroptophorus semipalmatus* | Playero Pihuihuí | | **02/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>(?)<br>**04/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | | |
| 62 | *Actitis macularius* | Playerito Alzacolita | | **01/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**08/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>**03**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 63 | *Numenius americanus* | Zarapito Pico Largo | | **01/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**06/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16¨W | **101/** 20°22´8,78”N 103°39´39.46”W | | |
| 64 | *Calidris mauri* | Playero Occidental | | **01/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**05/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W | **01/** 20°20´53.74”N 103°39´14.95”W | | |
| 65 | *Calidris minutilla* | Playerito Diminuto (mínimo) | **03/** 20°24´534”N 103°39´853”W | **06/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**13/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W | **07/** 20°22´54.63”N 103°39´28.11”W | | |
| 66 | *Calidris bairdii* | Playero de Baird | | **02/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16¨W | | | |
| 67 | *Calidris melanotos* | Playero Pectoral (pechirrayado) | | **01/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16¨W | | | |
| 68 | *Limno-dromus scolopaceus* | Costurero Pico Largo (Costurero de agua dulce) | | **35/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**24/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W<br>**08/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16¨W | **08/** 20°20´36.81”N 103°38´42.87”W | **06/** 20°22´36.16”N 103°38´34.61”W<br>**07/** 20°24´20.92”N 103°39´58.10”W | **12/** 20°23´0.37”N 103°39´52.35”W |
| 69 | *Gallinago gallinago* | Agachona Común | | **01/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16¨W | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 70 | *Phalaropus tricolor* | Faláropo Pico Largo | **01/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W **04/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W | **02/** 20°22´8,78”N 103°39´39.46”W | **01/** 20°21´58.06”N 103°38´8.68”W |
| 71 | *Leucophaeus atricilla (Larus atricilla)* | Gaviota Reidora | **01/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W **02/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W | | |
| 72 | *Larus delawarensis* | Gaviota Pico Anillado (Gaviota de Delaware) | **01/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W (?) | | |
| 73 | *Rissa tridactyla* | Gaviota Patas Negras (Gaviota tridáctila) | **01/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W Vulnerable IUCN | | |
| 74 | *Sterna caspia* | Charrán del Caspio (Golondrina marina grande piquirroja) | **01/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W | | |
| 75 | *Sterna forsteri* | Charrán de Forster (Golondrina marina de Forster) | **03/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W | | |
| 76 | *Chlidonias niger* | Charrán Negro (Golondrina marina negruzca) | **01/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W | | |
| 77 | *Zenaida asiatica* | Paloma Alas blancas Nativo de México | **02/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **01/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**01/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>**03/**<br>20°23´23.19”N<br>103°40´19.28”W | | | |
| 78 | *Zenaida macroura* | Huilota<br>Común<br>Paloma huilota | | **11/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**06/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**05/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | **06/**<br>20°22´54.63”N<br>103°39´28.11”W<br>**02/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | **03/**<br>20°24´20.92”N<br>103°39´58.10”W | **01/**<br>20°23´0.37”N<br>03°39´52.35”W |
| 79 | *Columbina inca* | Tortolita Cola Larga (Tórtola colilarga) Nativo de México | | **06/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**12/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16´W | | | |
| 80 | *Columbina passerina* | Tortolita Pico Rojo (pechipunteada) | | **04/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W<br>**09/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | **02/**<br>20°22´8,78”N<br>103°39´39.46”W<br>**01/**<br>20°20´53.74”N<br>103°39´14.95”W | | **01/**<br>20°23´39.67”N<br>103°40´2.90W |
| 81 | *Geococcyx velox* | Correcaminos Tropical | | **01/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | | **01/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W | |
| 82 | *Crotophaga sulcirostris* | Garrapatero Pijuy | **03/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529”W | **02/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | **05/**<br>20°21´39.09”N<br>103°39´53.71”W | **06/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W | **02/**<br>20°24´5.79”N<br>103°40´25.28”W |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **02/**<br>20°24´436”N<br>103°39´529”W | **06/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W | | | | |
| 83 | *Tyto alba* | Lechuza de Campanario | | | | | | **01/**<br>20°23´0.37”N<br>103°39´52.35”W |
| 84 | *Athene cunicularia* | Tecolote Llanero (zancón) | | | | | **01/**<br>20°23´18.38”N<br>103°38´55.10W | |
| 85 | *Chordeiles acutipennis* | Chotacabra Menor | | **01/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W<br>**02/**<br>20°24’32’80”N<br>103°40´35.20”W | | | | |
| 86 | *Chordeiles minor* | Chotacabra Zumbón Protección especial NOM 059-SEMAR-NAT-2010 Endémica de México (CONABIO) | | **01/**<br>20°24´29.87”N<br>103°40,6´51”W | | | | **01/**<br>20°23´0.37”N<br>103°39´52.35”W |
| 87 | *Aeronautes saxatalis* | Vencejo Pecho Blanco | | **01/**<br>20°23´56.89”N<br>103°40´28.16”W<br>(?) | | | | |
| 88 | *Colibri thalassinus* | Colibrí Orejas Violetas (Chupaflor orejivioleta verde) | | | **01/**<br>20°22´8,78”N<br>103°39´39.46”W | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 89 | *Amazilia rutila* | Colibrí Canelo | | **01/**<br>20°24'32'80''N<br>103°40´35.20''W | | | |
| 90 | *Amazilia violiceps* | Colibrí Corona Violeta (Amazilia occidental) | | **01/**<br>20°24'32'80''N<br>103°40´35.20''W | | | |
| 91 | *Helio-master constantii* | Colibrí Picudo Occidental | | | **01/**<br>20°21´11.30''N<br>1030 39´44.83''W<br>(?) | | |
| 92 | *Ceryle alcyon* | Martín pescador Norteño | | **01/**<br>20°24'32'80''N<br>103°40´35.20''W | **01/**<br>20°20´36.81''N<br>103°38´42.87''W | | |
| 93 | *Chloroceryle americana* | Martín pescador Verde | | **01/**<br>20°23´56.89''N<br>103°40´28.16´W | | **01/**<br>20°22'50.37''N<br>103°38´55.34''W | |
| 94 | *Melanerpes aurifrons* | Carpintero Cheje (Carpintero pechileonado común) | **02/**<br>20°24´436''N<br>103°39´529''W | **02/**<br>20°24´29.87''N<br>103°40,6´51''W<br>**01/**<br>20°24'32'80''N<br>103°40´35.20''W | **02/**<br>20°22´54.63''N<br>103°39´28.11''W<br>**01/**<br>20°20´53.74''N<br>103°39´14.95''W | | **01/**<br>20°23´39.67''N<br>103°40´2.90''W |
| 95 | *Dryobates scalaris (Picoides)* | Carpintero Mexicano | | | **01/**<br>20°21´11.30''N<br>103°39´44.83''W | **01/**<br>20°23´18.38''N<br>103°38´55.10''W | |
| 96 | *Camp-tostoma obsoletum* | Mosquerito Silbador | | | **01/**<br>20°21´39.09''N<br>103°39´53.71''W | | |
| 97 | *Sayornis nigricans* | Papamoscas Negro (Mosquero negro) | | **05/**<br>20°24´29.87''N<br>103°40,6´51''W | | | **01/**<br>20°24´5.79''N<br>103°40´25.28''W |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 98 | *Sayornis saya* | Papamoscas llanero Mosquero llanero | | **01/** 20°24'32'80"N 103°40´35.20"W | **01/** 20°22´8,78" N 103°39´39.46"W | | |
| | | Papamoscas Cardenalito | **04/** 20°24´534"N 103°39´853"W | **07/** 20°24´29.87"N 103°40,6´51"W | **06/** 20°22´54.63"N 103°39´28.11"W | **04/** 20°23´18.38"N 103°38´55.10"W | |
| 99 | *Pyrocephalus rubinus* | (Mosquero cardenalito) | **01/** 20°24´436"N 103°39´529"W | **02/** 20°23´56.89"N 103°40´28.16"W | **02/** 20°20´36.81"N 103°38´42.87"W | | |
| | | | | **04/** 20°23´23.19"N 103°40´19.28"W | | | |
| 100 | *Myiarchus tyrannulus* | Papamoscas Gritón | | **02/** 20°24'32'80"N 103°40´35.20"W | | **01/** 20°22´36.16"N 103°38´34.61"W | |
| | | | | **04/** 20°24´29.87"N 103°40,6´51"W | **03/** 20°22´54.63"N 103°39´28.11"W | | |
| 101 | *Pitangus sulphuratus* | Luis Bienteveo | **02/** 20°24´436"N 103°39´529"W | **01/** 20°23´56.89"N 103°40´28.16"W | **02/** 20°21´39.09"N 103°39´53.71"W | | **01/** 20°24´22.51"N 103°40´20.88"W |
| | | | | **03/** 20°23´23.19"N 103°40´19.28"W | | | |
| 102 | *Megarynchus pitangua* | Luis Pico Grueso | **05/** 20°24´436"N 103°39´529"W | **01/** 20°24´29.87"N 103°40,6´51"W | **03/** 20°22´8,78"N 103°39´39.46"W **02/** 20°20´53.74"N 103°39´14.95"W | **01/** 20°23´33.92"N 103°39´25.82"W | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 103 | *Tyrannus melancholicus* | Tirano Pirirí (Tirano Tropical Común) | **02/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W<br>**01/** 20º23´23.19”N 103º40´19.28”W | **05/** 20º22´54.63”N 103º39´28.11”W | | **01/** 20º23´0.37”N 103º39´52.35”W |
| 104 | *Tyrannus vociferans* | Tirano Chibiú (Tirano Gritón) | **05/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W<br>**03/** 20º23´56.89”N 103º40´28.16”W | **01/** 20º20´53.74”N 103º39´14.95”W | | **01/** 20º23´39.67”N 103º40´2.90”W |
| 105 | *Lanius ludovicianus* | Verdugo Americano | **03/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W<br>**01/** 20º23´23.19”N 103º40´19.28”W | **01/** 20º20´36.81”N 103º38´42.87”W | **01/** 20º23´33.92”N 103º39´25.82”W | **01/** 20º23´0.37”N 03º39´52.35”W |
| 106 | *Vireo bellii* | Vireo de Bell | | **01/** 20º21´11.30”N 103º39´44.83”W | | |
| 107 | *Vireo olivaceus* | Vireo Ojos Rojos (V. Ojirojo tropical) | | **01/** 20º20´53.74”N 103º39´14.95”W | | |
| 108 | *Corvus corax* | Cuervo Común | **03/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W<br>**02/** 20º23´56.89”N 103º40´28.16”W | **03/** 20º20´53.74”N 103º39´14.95”W | | **02/** 20º23´0.37”N 103º39´52.35”W |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 109 | *Eremophila alpestris* | Alondra cornuda | | | | |
| 110 | *Progne chalybea* | Golondrina Pecho Gris (Grande pechipálida) | | | **07/** 20º21´39.09”N 103º39´53.71”W | |
| 111 | *Tachycineta bicolor* | Golondrina Bicolor (Golondrina Canadiense) | | **23/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W **11/** 20º23´23.19”N 103º40´19.28”W | **09/** 20º22´8,78” N 103º39´39.46” W | |
| 112 | *Petrochelidon pyrrhonota* | Golondrina Risquera | | | | |
| 113 | *Hirundo rustica* | Golondrina Tijereta | **150/** 20°24´534”N 103°39´853” W | **75/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W **14/** 20º23´56.89”N 103º40´28.16”W | **13/** 20º22´54.63”N 103º39´28.11”W | **08/** 20º23´0.37”N 103º39´52.35”W |
| 114 | *Psaltriparus minimus* | Sastrecillo | | | **01/** 20º21´39.09”N 103º39´53.71”W | |
| 115 | *Catherpes mexicanus* | Saltapared Barranqueño | | **03/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W | | |
| 116 | *Cistothorus palustris* | Saltapared Pantanero | | **01/** 20º24’32’80”N 103º40´35.20”W | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 117 | *Polioptila caerulea* | Perlita Azulgrís (Perlita piis) (Zorzal dorsicanelo) Endémica de México | **01/** 20º23´23.19”N 103º40´19.28”W | | | |
| 118 | *Mimus polyglottos* | Cenzontle Norteño (Cenzontle aliblanco) | **01/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W | | **01/** 20º21´58.06”N 103º38´8.68”W | |
| 119 | *Toxostoma curvirostre* | Cuitlacoche Pico Curvo (Cuitlacoche común) | **03/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W<br>**01/** 20º24’32’80”N 103º40´35.20”W | **02/** 20º22´54.63”N 103º39´28.11”W<br>**01/** 20º21´39.09”N 103º39´53.71”W<br>**02/** 20º20´53.74”N 103º39´14.95”W | | **01/** 20º23´0.37”N 103º39´52.35”W |
| 120 | *Bombycilla cedrorum* | Chinito | **01/** 20º24’32’80”N 103º40´35.20”W | | | |
| 121 | *Oreothlypis celata (Vermivora celata)* | Chipe Corona Naranja (Chipe Celato) | | **01/** 20º22´54.63”N 103º39´28.11”W (?) | | |
| 122 | *Vermivora luciae* | Chipe Rabadilla Castaña | | **01/** 20º22´54.63”N 103º39´28.11”W (?) | | |
| 123 | *Mniotilta varia* | Chipe Trepador | **01/** 20º24´29.87”N 103º40,6´51”W | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 124 | *Oporornis tolmiei* | Chipe lores Negros (Chipe cabecigrís de Tolmiei) | | **01/** 20°20´53.74”N 103°39´14.95”W | | |
| 125 | *Geothlypis trichas* | Mascarita Común (Mascarita norteña) | **01/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W | | | **01/** 20°23´0.37”N 103°39´52.35”W |
| 126 | *Icteria virens* | Chipe Grande (piquigrueso) | | **01/** 20°22´54.63”N 103°39´28.11”W | | |
| 127 | *Volatinia jacarina* | Semillerito Brincador | | **01/** 20°22´8,78” N 103°39´39.46” W<br>**02/** 20°20´36.81”N 103°38´42.87”W | | **01/** 20°24´22.51”N 103°40´20.88”W |
| 128 | *Sporophila torqueola* | Semillero Rabadilla Canela (Semillerito collarejo) Endémica de México | **01/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W | | | |
| 129 | *Melozone fusca* | Rascador Viejita (pardo) | **01/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W | | **01/** 20°23´18.38”N 103°38´55.10”W | |
| 130 | *Chondestes grammacus* | Gorrión Arlequín | | **06/** 20°22´8,78”N 103°39´39.46”W | | |
| 131 | *Pheucticus melanocephalus* | Picogordo Tigrillo (Picogrueso pechicafé) | | **01/** 20°22´54.63”N 103°39´28.11”W | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 132 | *Passerina caerulea* | Picogordo Azul | | **02/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W | **03/** 20°22´8,78”N 103°39´39.46”W<br>**03/** 20°21´39.09”N 103°39´53.71”W | | **01/** 20°23´0.37”N 103°39´52.35”W |
| 133 | *Passerina versicolor* | Colorín Morado (oscuro) | | **01/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W | | | |
| 134 | *Agelaius phoeniceus* | Tordo Sargento | | **45/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**23/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W<br>**12/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W<br>**08/** 20°23´23.19”N 103°40´19.28”W | **16/** 20°22´54.63”N 103°39´28.11”W<br>**09/** 20°21´39.09”N 103°39´53.71”W<br>**11/** 20°20´53.74”N 103°39´14.95”W | **10/** 20°23´18.38”N 103°38´55.10W<br>**09/** 20°24´20.92”N 103°39´58.10”W | **11/** 20°23´17.04”N 103°40´5.15”W |
| 135 | *Sturnella neglecta* | Pradero del Oeste (Pradero occidental) | **04/** 20°24´534”N 103°39´853”W | **150/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**43/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W<br>**150/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W | **23/** 20°22´54.63”N 103°39´28.11”W<br>**11/** 20°21´39.09”N 103°39´53.71”W<br>**23/** 20°22´54.63”N 103°39´28.11”W | **07/** 20°21´58.06”N 103°38´8.68”W | **12/** 20°23´0.37”N 103°39´52.35”W |
| 136 | *Xanthocephalus xanthocephalus* | Tordo Cabeza Amarilla | **80/** 20°24´534”N 103°39´853”W | **43/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W<br>**18/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W | **11/** 20°21´39.09”N 103°39´53.71”W<br>**08/** 20°20´36.81”N 103°38´42.87”W | **07/** 20°21´58.06”N 103°38´8.68”W | **12/** 20°23´0.37”N 103°39´52.35”W |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 137 | *Euphagus cyanocephalus* | Tordo Ojos Amarillos | **15/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**12/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W | **16/** 20°21´11.30”N 103°39´44.83”W<br>**01/** 20°20´53.74”N 103°39´14.95”W | **08/** 20°24´11.17”N 103°39´20.56”W | |
| 138 | *Quiscalus mexicanus* | Zanate Mayor (Zanate mexicano) | **25/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**12/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W | **05/** 20°22´54.63”N 103°39´28.11”W<br>**08/** 20°21´39.09”N 103°39´53.71”W | | **05/** 20°24´5.79”N 103°40´25.28”W |
| 139 | *Molothrus aeneus* | Tordo Ojos Rojos | **65/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**12/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W | **13/** 20°22´8,78” N 103°39´39.46” W<br>**06/** 20°21´39.09”N 103°39´53.71”W<br>**06/** 20°21´39.09”N 103°39´53.71”W | **02/** 20°23´33.92”N 103°39´25.82”W | **06/** 20°23´0.37”N 103°39´52.35”W |
| 140 | *Molothrus ater* | Tordo Cabeza Café | **44/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**13/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W<br>**07/** 20°23´23.19”N 103°40´19.28”W | **23/** 20°22´8,78”N 103°39´39.46”W | **04/** 20°22´36.16”N 103°38´34.61”W<br>**08/** 20°24´20.92”N 103°39´58.10”W | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 141 | *Icterus wagleri* | Calandria de Wagler (Bolsero de Wagler) | **01/** 20°24'32'80"N 103°40´35.20"W | | |
| 142 | *Icterus spurius* | Calandria Castaña Bolsero castaño | | **01/** 20°21´39.09"N 103°39´53.71"W (?) | |
| 143 | *Icterus cucullatus* | Calandria Dorso Negro Menor (Bolsero Cuculado) | **04/** 20°24´29.87"N 103°40,6´51"W | **01/** 20°22´8,78"N 103°39´39.46"W | **01/** 20°23´0.37"N 103°39´52.35"W |
| 144 | *Icterus pustulatus* | Calandria Dorso Rayado (Bolsero Pustulado) | **01/** 20°24'32'80"N 103°40´35.20"W | | |
| 145 | *Carpodacus mexicanus* | Pinzón Mexicano (Carpodaco Doméstico) | **02/** 20°24´29.87"N 103°40,6´51"W<br>**01/** 20°24'32'80"N 103°40´35.20"W<br>**01/** 20°23´23.19"N 103°40´19.28"W | **03/** 20°22´54.63"N 103°39´28.11"W<br>**02/** 20°21´39.09"N 103°39´53.71"W | **02/** 20°23´17.04"N 103°40´5.15" W<br>**01/** 20°23´0.37"N 103°39´52.35"W |
| 146 | *Carduelis psaltria* | Jilguerito Dominico (Jilguero Dorsioscuro) | **01/** 20°24´29.87"N 103°40,6´51"W | | **01/** 20°23´0.37"N 103°39´52.35"W |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 147 | *Passer domesticus* | Gorrión Doméstico | | **23/** 20°24´29.87”N 103°40,6´51”W<br>**16/** 20°24’32’80”N 103°40´35.20”W<br>**08/** 20°23´56.89”N 103°40´28.16”W | **09/** 20°22´54.63”N 103°39´28.11”W<br>**07/** 20°21´39.09”N 103°39´53.71”W<br>**04/** 20°20´36.81”N 103°38´42.87”W | | **09/** 20°23´39.67”N 103°40´2.90” W<br>**04/** 20°23´0.37”N 103°39´52.35”W |
| **No de individuos registrados** | | | **1,095** | **1,969** | **1,594** | **514** | **396** |
| **No de especies registradas** | | | **28** | **121** | **89** | **46** | **52** |

## Anexo VII. Monitoreo de agua y sedimentos

En este anexo se presentan los detalles del protocolo de trabajo seguido durante las campañas de monitoreo de agua y sedimentos en la Laguna de Atotonilco derivadas del proyecto FODECIJAL 8193-2019.

### *VII.1. Material de trabajo*

**Tabla VII.1.** Descripción del material de trabajo requerido para el monitoreo de agua y sedimentos en la laguna

| Descripción | Cantidad | Capacidad | Cometarios |
|---|---|---|---|
| Lancha tipo panga con motor eléctrico fuera de borda y toldo protector | 1/2 | 5 personas incluido el guía | Será proporcionada por JIMAL |
| Sonda YSI *Professional Plus* | 1 | | Existente en ITESM |
| Botella van Dorn | 1 | ~ 1000 mL | Existente en USAM |
| Draga Ekman | 1 | ~ 3500 mL | Existente en USAM |
| Equipo GPS para localización de estaciones | 1 | - | Existente en la UTA |
| Extensor con cubeta para captura de muestras de agua | 1 | - | Existente en USAM |
| Flujómetro para medición en canales | 1 | | Existente en la UTA |
| Pantalones "Waders" para los muestreadores | 4 | | Para adquisición |
| Bolsas estériles con auto-cierre | 50 | 250 mL | |
| Bolsas *zip-lock* | 50 | 500 mL | |
| Plumones *sharpie* color negro | 5 | - | |
| Botellas de plástico de boca ancha con tapón de cierre hermético | 60 | 500 mL | Para análisis de DQO, PT, Cianuro y metales totales |
| Botellas de plástico de boca ancha con tapón de cierre hermético | 15 | 1000 mL | Para análisis de DBO5 |
| Botellas de plástico de boca ancha con tapón de cierre hermético | 15 | 2000 mL | Para análisis de NT |
| Botellas de vidrio color ámbar de boca ancha con tapa de teflón | 15 | 1000 mL | Para análisis de plaguicidas |
| Bolsas estériles | 100 | 500 mL | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Hileras de campamento | 4 | ~ 45.4 L | Algunas podrían ser facilitadas por USAM |
| Cúter | 2 | | Se consiguen en almacén |
| Bitácora con forro de plástico y bolsa | 2 | 100 hojas | Se consiguen en almacén |
| Cinta adhesiva lavable para marcar | 2 | Pzas. | |
| Cinta adhesiva para ductos | 2 | 50mm x 10m | |
| Botellas DBO y reactivos para medición de $O_2$ | 39 | 300 mL c/u | Para productividad primaria fitoplanctónica |

### *VII.2. Periodicidad del muestreo*

Se realizarán dos (2) campañas de monitoreo a fin de coincidir con el periodo de estiaje y lluvias. Para el monitoreo de las estaciones lacustres se cuenta con una lancha para tres personas (incluido el guía), la cual deberá ir equipada con un motor eléctrico fuera de borda y protegida con capota (toldo) a fin de evitar la insolación de las personas y dar sombra para facilitar el trabajo de campo y lograr un mayor periodo de frío en la conservación de las muestras. Asimismo, se cuenta con una lancha inflable con motor fuera de borda para tres personas. Es imprescindible verificar que las lanchas estén íntegras y que no haya infiltraciones de agua de la laguna dentro de la misma.

Para el monitoreo de las estaciones fluviales (canales) será necesario disponer de una camioneta tipo pick-up con la finalidad de facilitar la entrada a caminos de terracería y portar el equipo de muestreo.

### *VII.3. Tiempo estimado para toma de muestras en cada campaña*

Se iniciará cada campaña de monitoreo a las 06:00 a.m. y concluirá a las 15:00 horas para alcanzar a llevar las muestras a la Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos (USAM) del CIATEJ para su recepción, conservación en frío y posterior análisis. El tiempo estimado en cada estación de monitoreo es de 30 min como máximo, más 10 min de traslado entre cada una de las estaciones, con lo que debemos contar con 40 min por estación.

### *VII.4. Medidas de protección personal*

Dada la situación de riesgo, en la cual se cuenta la población del país relacionada con el virus denominado COVID-19, es indispensable que cada uno de los integrantes del equipo de trabajo de la campaña de muestreo porte cubrebocas KN95 durante toda la campaña de monitoreo. Es conveniente llevar un aspersor de manos de 1,000 mL de capacidad conteniendo solución sanitizante (p. ej. ácido hipocloroso) en la concentración indicada por los proveedores para desinfectar regularmente las manos y el equipo de monitoreo de campo. Asimismo, es indispensable el uso de guantes de plástico y lentes de seguridad en el momento que se tome cada una de las muestras.

A fin de evitar quemaduras en la piel por exposición al sol es necesario portar crema con protector solar, cachucha y lentes para el sol con protector UV. Camisa de manga larga y pantalones de color claro.

Se aconseja llevar en una mochila, papel sanitario, un refrigerio y bebidas isotónicas a fin de evitar deshidratación durante el tiempo de trabajo en la laguna. Como requisito de seguridad se deberá contar con un botiquín de emergencia.

### *VII.5. Bitácora de trabajo*

La bitácora es el instrumento mediante el cual se registra en orden cronológico todas las actividades que se realizan durante la toma de muestras y su respectivo análisis in situ. Asimismo, deberá anotarse el momento en el cual las muestras se entregan en el laboratorio para su análisis. Deberá ser una libreta exclusivamente usada para este propósito y estar protegida constantemente en una bolsa de plástico a fin de evitar que reciba gotas de agua durante los procedimientos de muestreo. Se sugiere que sea una persona la que tenga la función exclusiva del registro de los eventos que se desarrollen durante el muestreo y análisis en campo. Asimismo, el responsable de la bitácora se hará responsable de la toma de evidencias fotográficas del trabajo que se realice en campo.

### *VII.6. Identificación de muestras*

Para la identificación de las muestras en bolsas y botellas es necesario el uso de cinta adhesiva para marcaje, un *cutter* y plumón *sharpie* color negro o similar. Cada muestra identificada deberá llevar su registro correspondiente en la bitácora indicando la naturaleza de esta, la estación de monitoreo y la hora en la cual fue tomada.

### *VII.7. Metales pesados en sedimentos*

Mediante el uso de una draga tipo Ekman se tomarán aproximadamente 500 gramos de muestra únicamente en las estaciones lacustres, los cuales se deberán conservar en bolsas separadas *zip-lock* e identificadas con plumón *sharpie* color negro dentro de una hielera destinada exclusivamente para las muestras de sedimentos. La temperatura de conservación de las muestras deberá ser a < 20°C cuando la muestra se entrega el mismo día al laboratorio y de < 4°C si se entrega en un plazo de 48 h.

Al final de la campaña de monitoreo las muestras de sedimentos de las estaciones lacustres se entregarán al laboratorio de USAM con la finalidad de analizar los siguientes metales pesados: Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn.

### *VII.8. Parámetros fisicoquímicos del agua*

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua se hará uso de la sonda multiparamétrica YSI Professional Plus (https://www.ysi.com/proplus). El medidor multiparámetro portátil YSI Professional Plus proporciona una flexibilidad extrema para la medición de una variedad de combinaciones de oxígeno disuelto (OD), conductividad, conductancia específica, salinidad, resistividad, sólidos disueltos totales (SDT), pH, ORP, combinación de pH / ORP, amonio ($NH_3^+$) y amoniaco ($NH_4^+$), nitrato ($NO_3^-$), cloruro ($Cl^-$) y temperatura (T).

Las lecturas in situ de los parámetros fisicoquímicos con la sonda YSI Professional Plus se realizarán a 30 cm por debajo de la superficie de agua. Asimismo, se tomará en sitio lectura de la profundidad del disco Secchi.

Los parámetros fisicoquímicos que serán determinados en el laboratorio USAM del CIATEJ son:

**Tabla VII. 2.** Métodos aplicados para la medición de los parámetros fisicoquímicos

| Parámetro | Método de cuantificación |
|---|---|
| Cianuro total (CN) | HACH |
| Demanda bioquímica de oxígeno | NMX-AA-028-SCFI-2001 |
| Demanda química de oxígeno | NMX-AA-030/2-SCFI-2011 |
| Fósforo total | NMX-AA-029-SCFI-2001 |
| Nitrógeno total | NMX-AA-026-SCFI-2010 |

**Tabla VII. 3.** Métodos aplicados para la medición de los metales pesados y metaloides

| Metales pesados y metaloides | Método de cuantificación | Límite de detección ($mg \cdot L^{-1}$)* | Entidad a cargo |
|---|---|---|---|
| Aluminio | INS-SM/US-71 | < 0.05 | CIATEJ |
| Arsénico | INS-SM/US-71 | < 0.01 | CIATEJ |
| Cadmio | INS-SM/US-71 | < 0.002 | CIATEJ |
| Cobre | INS-SM/US-71 | < 0.01 | CIATEJ |
| Cromo total | INS-SM/US-71 | < 0.01 | CIATEJ |
| Hierro | INS-SM/US-71 | < 0.01 | CIATEJ |
| Manganeso | INS-SM/US-71 | < 0.01 | CIATEJ |
| Mercurio | INS-SM/US-71 | < 0.0005 | CIATEJ |
| Níquel | INS-SM/US-71 | < 0.01 | CIATEJ |
| Plomo | INS-SM/US-71 | < 0.01 | CIATEJ |
| Zinc | INS-SM/US-71 | < 0.01 | CIATEJ |

Las muestras para estos parámetros deberán ser capturadas con una botella Van Dorn de 1 L de capacidad. Las muestras se capturan a 30 cm por debajo de la superficie de agua.

### *VII.9. Plaguicidas y antibióticos*

Las muestras para plaguicidas se toman por duplicado en frascos de vidrio con tapón de teflón de 1000 ml de capacidad. Las muestras se estabilizan agregando 1000 mg de ácido ascórbico. El muestreo para antibióticos procede igual que en el caso de los plaguicidas.

**Tabla VII. 4.** Métodos aplicados para la medición de compuestos orgánicos sintéticos

| No | Plaguicidas | Método de cuantificación | Límite de detección ($\mu g \cdot L^{-1}$)* |
|---|---|---|---|
| 1 | Alpha-BHC | Modificación EPA Method 8081 | < 2.00 |
| 2 | Gamma-BHC (Lindano) | Modificación EPA Method 8081 | < 2.00 |
| 3 | Beta-BHC | Modificación EPA Method 8081 | < 0.20 |
| 4 | Gamma-Clordano | Modificación EPA Method 8081 | < 0.01 |
| 5 | Hexaclorobenceno | Modificación EPA Method 8081 | < 0.03 |
| 6 | Heptacloro | Modificación EPA Method 8081 | < 0.03 |
| 7 | Aldrin | Modificación EPA Method 8081 | < 0.03 |
| 8 | Heptacloro Epóxido | Modificación EPA Method 8081 | < 1.00 |
| 9 | Endosulfan I | Modificación EPA Method 8081 | < 1.00 |
| 10 | Endosulfan II | Modificación EPA Method 8081 | < 1.00 |
| 11 | 4,4´- DDE | Modificación EPA Method 8081 | < 0.03 |
| 12 | Dieldrin | Modificación EPA Method 8081 | < 0.03 |
| 13 | Enddrin | Modificación EPA Method 8081 | < 1.00 |
| 14 | 4,4´-DDD | Modificación EPA Method 8081 | < 1.00 |
| 15 | 2,4´-DDT | Modificación EPA Method 8081 | < 1.00 |
| 16 | 4,4´-DDT | Modificación EPA Method 8081 | < 20.00 |
| 17 | Metoxicloro | Modificación EPA Method 8081 | < 0.66 |
| 18 | Clorpirifos Metilo | Modificación AOAC – Official Method 970.52 | < 0.26 |
| 19 | Diazinon | Modificación AOAC – Official Method 970.52 | < 0.45 |
| 20 | Etion | Modificación AOAC – Official Method 970.52 | < 0.29 |
| 22 | Malation | Modificación AOAC – Official Method 970.52 | < 0.30 |
| 23 | Metamidofos | Modificación AOAC – Official Method 970.52 | < 2.00 |

**Tabla VII. 5.** Métodos aplicados para la medición de antibióticos y hormonas

| No | Plaguicidas | Método de cuantificación | Límite de detección ($\mu g \cdot L^{-1}$)* |
|---|---|---|---|
| 1 | Oxitetraciclina | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <3.40 |
| 2 | Penicilina G | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <7.30 |
| 3 | Sulfadimetoxina | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <3.10 |
| 4 | Sulfadoxin | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <2.20 |
| 5 | Sulfametazina | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <1.50 |
| 6 | Sulfapiridina | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <1.40 |
| 7 | Sulfatiazol | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <1.00 |
| 8 | Sulfamerazina | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <1.50 |
| 9 | Sulfacloropiridazina | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <3.20 |
| 10 | Sulfadiazina | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <1.30 |
| 11 | Sulfaquinoxalina | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <2.60 |
| 12 | Sulfisoxazol | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <5.30 |
| 13 | Dimetridazol | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <11.60 |
| 14 | Hidroxi-ipronidazol | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <6.00 |
| 15 | Metronidazol | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <5.70 |
| 16 | Ronidazol | Modificación Método interno INS-SM-US-247* | <5.50 |

**Tabla VII. 6.** Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras tomadas de manera puntual de acuerdo con los parámetros a determinar

| Parámetro | Tipo de recipiente | Volumen de muestra (mL) | Conservación de muestras en campo |
|---|---|---|---|
| Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) | P, V | 500 | Refrigerar |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | P, V | 100 | Analizar lo más pronto posible o agregar $H_2SO_4$ hasta pH < 2 y refrigerar |
| Nitrógeno total (NT) | P | 2000 | Debe preservarse la muestra con ácido sulfúrico (1:1) a un pH de 1,0 a 2,0. Posteriormente, refrigerar hasta su análisis. |
| Fósforo total (PT) | P | 500 | Refrigerar |
| Cianuro total (CN) | P, V | 500 | Agregar NaOH hasta pH>12, refrigerar en la oscuridad |
| Metales en general | P | 500 | Filtrar, agregar $HNO_3$ hasta pH<2 y refrigerar (se realiza el procedimiento en el laboratorio) |
| Plaguicidas | V(S), tapón de teflón | 2x1000 | Refrigerar; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual. Muestra por duplicado |
| Compuestos emergentes: | V(S), tapón de teflón | 2x1000 | Refrigerar; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual. Muestra por duplicado |

Notas:

1. Para las determinaciones no enumeradas usar recipientes de vidrio o plástico; preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar lo más pronto posible.
2. P =plástico, V = vidrio; V(A) o P(A) = enjuagado con $HNO_3$ 1+1; V(B) = vidrio, enjuagado con solventes orgánicos o secado en estufa.
3. Refrigerar = almacenar a 4°C en ausencia de luz. La preservación de la muestra debe realizarse en el momento de la toma de muestra. Para muestras compuestas, cada alícuota debe preservarse en el momento de su recolección. Cuando el uso de un muestreador automático haga imposible la preservación de cada alícuota, las muestras deben mantenerse a 4° C ± 2°C hasta que se complete la composición.
4. Las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible después de su recolección. Los tiempos listados son los periodos máximos que pueden transcurrir antes del análisis para considerarlo válido. Algunas muestras pueden no ser estables por el periodo máximo dado en la tabla.
5. Para metales disueltos las muestras deben filtrarse inmediatamente en el sitio de muestreo, antes de adicionar el ácido.

### *VII.10. Parámetros microbiológicos*

La toma de muestras se realiza mediante la captura de agua en una botella Van Dorn y se vierte el contenido en bolsas de plástico estériles. En cada punto se deberán tomar dos muestras de 500 mL cada una y conservarlas en hielo a 4°C hasta su análisis en el laboratorio. Deberán trasladarse en un periodo máximo de 5 horas a fin de asegurar la confiabilidad de los resultados.

Los parámetros que se analizaron en el laboratorio son:

**Tabla VII. 7.** Métodos aplicados para la medición de los parámetros microbiológicos

| Parámetros Microbiológicos | Método de cuantificación |
|---|---|
| Coliformes totales | NMX-AA-042-SCFI-2015 |
| Coliformes fecales | NMX-AA-042-SCFI-2015 |
| *E. Coli* | NMX-AA-042-SCFI-2015 |
| *Salmonella* | NOM-114-SSA1-1994 |
| Huevos de Helmintos | NMX-AA-113-SCFI-2012 |

### *VII.11. Productividad primaria*

Se planean tres muestreos de la productividad primaria (fitoplancton) sincronizados con los de estudios fisicoquímicos durante las épocas de estiaje y lluvias durante los meses de febrero, agosto y diciembre del 2021. El método que se utilizó fue el monitoreo de la evolución del oxígeno.

En la laguna se seleccionaron los mismos sitios de muestreo apuntados en el proyecto maestro con la finalidad de poder correlacionar con los análisis que se realizaron. En cada ocasión las muestras fueron colectadas a profundidad ½ Secchi. Para lo anterior se utilizó botella van Dorn y disco de Secchi de 30 cm de diámetro. Se realizaron incubaciones de aproximadamente 4 horas *in situ* a ½ Secchi en botellas claras y obscuras de 300 ml para cada uno de los sitios de muestreo y una tercera botella fue destinada para la

medición inmediata del contenido de $O_2$ en mg/L por medio de la técnica de Winkler (Strickland & Parsons, 1972). Al término de las incubaciones se fijaron las muestras con ácido sulfúrico concentrado. Las muestras son estables hasta tres días para proceder con las titulaciones.

## Anexo VIII. Resultados de calidad del agua y sedimentos

**Tabla VIII. 1.** Valores límite establecidos para parámetros fisicoquímicos seleccionados por la normativa nacional e internacional para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce

| Parámetros fisicoquímicos | Unidad | LFD* | NOM** Promedio Mensual | OECD*** |
|---|---|---|---|---|
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) | mg/L | 30.00 | 30 | 5 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L | - | - | 7 |
| Fósforo total (PT) | mg/L | 0.05 | 5 | 0.2 |
| Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) | mg/L | - | 15 | 4 |
| Nitrógeno amoniacal (N-NH4+) | mg/L | 0.06 | - | 0.4 |
| Nitrógeno orgánico (NO) | mg/L | - | - | - |
| Cianuro total (CN) | mg/L | 0.005 | 2 | - |
| Solidos suspendidos totales (SST) | mg/L | 30.00 | 40 | - |
| Solidos sedimentables (SS) | mL/L | - | 1 | - |
| Substancias activas al azul de metileno | mg/L | 0.10 | - | - |
| Temperatura (T) | °C | CN+1.5 | 40 | ≤28 |
| Oxígeno disuelto (OD) | mg/L | 5.00 | - | ≥7 |
| pH | | 6.5-8.5 | - | 6.5-9.0 |
| Conductividad eléctrica (CE) | mS/cm | - | - | - |
| ORP | mV | - | - | - |
| Salinidad | PSU | - | - | - |
| Disco Secchi | cm | - | - | - |

* De acuerdo con el uso 3 de la Ley Federal de Derechos (LFD, 2020) para la protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales.
** De acuerdo con los valores límite promedio mensuales establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 conforme al criterio de descargas a un cuerpo de agua tipo C para la protección de la vida acuática.
*** De o la propuesta normativa de la OECD (2008).

**Tabla VIII. 2.** Valores límite establecidos para metales pesados por la normativa nacional e internacional para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce

| Metales pesados | Unidad | LFD* | NOM** Promedio Mensual | OECD*** |
|---|---|---|---|---|
| Aluminio | mg/L | 0.05 | - | - |
| Arsénico | mg/L | 0.20 | 0.10 | - |
| Cadmio | mg/L | 0.004 | 0.10 | 0.001 |
| Cobre | mg/L | 0.05 | 4.00 | 0.05 |
| Cromo total | mg/L | 0.05 | 0.50 | - |
| Fierro | mg/L | 1.00 | - | 1.00 |
| Mercurio | mg/L | 0.0005 | 0.005 | 0.001 |
| Manganeso | mg/L | - | - | 0.1 |
| Níquel | mg/L | 0.60 | 2.00 | 0.025 |
| Plomo | mg/L | 0.03 | 0.20 | 0.05 |
| Zinc | mg/L | 0.02 | 10.00 | 0.3 |

* De acuerdo con el uso 3 de la Ley Federal de Derechos (LFD, 2020) para la protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales.
** De acuerdo con los valores límite promedio mensuales establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 conforme al criterio de descargas a un cuerpo de agua tipo C para la protección de la vida acuática.
*** De o la propuesta normativa de la OECD (2008).

**Tabla VIII. 3.** Valores límite establecidos para microorganismos patógenos por la normativa nacional e internacional para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce

| Parámetros Microorganismos Patógenos | Unidad | LFD* | NOM** Promedio Mensual | OECD*** |
|---|---|---|---|---|
| Coliformes totales | NMP/100 mL | - | - | 5000 |
| Coliformes fecales | NMP/100 mL | 1000 | 1000 | 2000 |
| *E. coli* | NMP/100 mL | - | - | - |
| *Salmonella* | en 25 mL de muestra | - | - | - |
| *Pseudomona Aeruginosa* | en 25 mL de muestra | - | - | - |
| Huevos de Helmintos | h/L | - | ≤ 5 | - |

* De acuerdo con el uso 3 de la Ley Federal de Derechos (LFD, 2020) para la protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales.
** De acuerdo con los valores límite promedio mensuales establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 conforme al criterio de descargas a un cuerpo de agua tipo C para la protección de la vida acuática. Así como de la NOM-003-SEMARNAT que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas para su reutilización en servicios públicos con contacto indirecto.
*** De o la propuesta normativa de la OECD (2008).

**Tabla VIII. 4.** Valores medidos in situ con la sonda portátil HI 9828 de la marca HANNA® en las estaciones lacustres y fluviales de la laguna en febrero del 2021

| Estación de monitoreo | Temperatura °C | pH | Oxígeno disuelto mg/L | Conductividad eléctrica mS/cm | Salinidad mg/L | ORP | Disco Secchi cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L1 | - | - | - | - | - | - | - |
| L2 | 16.96 | 9.85 | 2.41 | 3.03 | 1.59 | -208.53 | 9.00 |
| L3 | 15.90 | 9.21 | 3.69 | 3.08 | 1.61 | -237.47 | 4.67 |
| L4 | 21.72 | 9.55 | 2.88 | 3.09 | 1.61 | -237.90 | 5.17 |
| **Promedio** | **18.19** | **9.54** | **2.99** | **3.07** | **1.60** | **-227.97** | **6.28** |
| C1 | 18.27 | 7.45 | 0.84 | 0.75 | 0.37 | -254.67 | NM |
| C2 | 13.09 | 8.78 | 1.34 | 0.66 | 0.33 | -238.10 | NM |
| C3 | - | - | - | - | - | - | NM |
| C4 | 17.33 | 8.54 | 1.00 | 0.95 | 0.47 | -263.30 | NM |
| C5 | 17.10 | 7.31 | 0.93 | 0.68 | 0.33 | -421.97 | NM |
| PTAR | 12.49 | 9.53 | 1.02 | 0.89 | 0.44 | -202.30 | NM |
| Promedio | 15.66 | 8.32 | 1.03 | 0.79 | 0.39 | -276.07 | |

La profundidad de las mediciones se realizó a 30 cm por debajo de la superficie libre de la laguna y en la superficie de las corrientes fluviales en los canales muestreados. No se tomaron muestras de la estación lacustre L1 y de la estación C3 dado que estaban secas en las fechas de muestreo.
NM = No medido

**Tabla VIII. 5.** Parámetros fisicoquímicos observados en las estaciones lacustres de la laguna en febrero y agosto de 2021

| PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS | Unidad | L1 | | | L2 | | | L3 | | | L4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) | mg/L | - | 60.79 | 19.76 | 36.47 | 72.95 | 18.24 | 36.47 | 60.79 | 16.72 | 24.32 | 72.95 | 18.24 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L | - | 118.53 | 41.22 | 78.80 | 136.31 | 38.76 | 73.87 | 124.45 | 39.37 | 37.76 | 130.38 | 40.60 |
| Fósforo total | mg/L | - | 1.04 | 1.77 | 2.91 | 1.90 | 2.35 | 3.84 | 2.13 | 2.04 | 5.26 | 2.13 | 3.57 |
| Nitrógeno total Kjeldahl | mg/L | - | 4.37 | 31.96 | < 0.50 | 4.66 | 31.96 | < 0.50 | 6.12 | 63.04 | < 0.50 | 5.53 | 31.96 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/L | - | 1.46 | 0.66 | < 0.25 | 1.75 | 0.73 | < 0.25 | 4.37 | 0.58 | < 0.25 | 3.20 | 0.80 |
| Nitrógeno orgánico | mg/L | - | 2.91 | 31.30 | < 0.25 | 2.91 | 31.23 | < 0.25 | 1.75 | 62.46 | < 0.25 | 2.33 | 31.16 |
| Cianuro total (CN) | mg/L | - | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 |
| Solidos suspendidos totales | mg/L | - | 34.67 | 34.59 | 392.11 | 69.09 | 130.00 | 290.00 | 116.67 | 132.15 | 263.33 | 52.00 | 179.00 |
| Solidos sedimentables | mL/L | - | 0.70 | < 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | <0.50 | <0.50 | 0.50 | <0.5 | <0.5 |
| Substancias activas al azul de metileno | mg/L | - | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 |
| Temperatura | °C | - | 23.03 | 18.67 | 16.96 | 22.97 | 20.13 | 15.90 | 22.47 | 18.80 | 21.72 | 21.77 | 19.37 |
| Oxígeno disuelto | mg/L | - | 1.30 | 6.50 | 2.41 | 7.23 | 6.63 | 3.69 | 7.27 | 6.53 | 2.88 | 6.93 | 6.10 |
| pH | | - | 7.29 | 7.64 | 9.85 | 8.97 | 8.46 | 9.21 | 9.02 | 8.64 | 9.55 | 8.95 | 8.57 |
| Conductividad eléctrica | µS/cm | - | 724.33 | 1,017 | 3,026.33 | 1,153.33 | 1,1314 | 3,076.67 | 1,231.33 | 1,316 | 3,094.00 | 1,198.67 | 1,332 |
| Salinidad | | - | 0.35 | 0.58 | 1.59 | 0.57 | 0.72 | 1.61 | 0.61 | 0.75 | 1.61 | 0.60 | 0.76 |
| Disco Secchi | cm | - | - | - | 9.00 | 4.83 | 15.17 | 4.67 | 4.17 | 14.83 | 5.17 | 4.83 | 15.00 |

* Los números en rojo indican los valores que exceden los límites establecidos por la LFD (2020), a los promedios mensuales la NOM-001-SEMARNAT-1996 de acuerdo con el criterio de descargas a un cuerpo de agua tipo C para la protección de la vida acuática o la propuesta normativa de la OECD (2008). No se reportan resultados en la estación lacustre L1 dado que estaba seca e infestada por tule en las fechas de muestreo.

**Tabla VIII. 6.** Valores medidos en el laboratorio del CIATEJ de Microrganismos Patógenos seleccionados de muestras de agua tomadas en febrero y agosto de 2021 en las estaciones lacustres de la laguna

| Microorganismos Patógenos | Unidad | L1 | | | L2 | | | L3 | | | L4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic |
| Coliformes totales | NMP/100 mL | - | 24,000 | 1,600 | 23 | 23,000 | 33.00 | 5 | 540 | 6.80 | 8 | 350 | 4.50 |
| Coliformes fecales | NMP/100 mL | - | 350 | 350 | 5 | 350 | 23.00 | ND | 70.00 | 1.80 | ND | 79 | ND |
| E. coli *(Escherichia coli)* | NMP/100 mL | - | 14 | 170 | 5 | 17 | 23.00 | ND | 9.2 | 1.80 | ND | 33 | ND |
| *Salmonella* | en 25 mL de muestra | - | A | P | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| *Pseudomona Aeruginosa* | en 25 mL de muestra | - | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Huevos de Helminto | - | - | < 1 | < 1< | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |

* No se reportan resultados en la estación lacustre L1 dado que estaba seca e infestada por tule en las fechas de muestreo.
A = Ausencia; ND = No detectado; P = Presencia.
La estación C3 permaneció sin flujo de agua en las dos campañas de muestreo.

**Tabla VIII. 7.** Valores medidos en el laboratorio del CIATEJ de indicadores microbiológicos seleccionados de muestras de agua tomadas en febrero y agosto de 2021 en las estaciones fluviales de la laguna

| PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS | Unidad | C1 | | | C2 | | | C4 | | | C5 | | | PTAR | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic | Feb | Ago | Dic |
| Coliformes totales | NMP/100 mL | 1,700,000 | 49,000,000 | 2,000 | 92,000 | 24,000 | 13,000 | 13,000 | 2,000 | 180,000 | 160,000 | 11,000 | 170,000 | 92,000 | 92,000 | 45,000 |
| Coliformes fecales | NMP/100 mL | 1,700,000 | 5,400,000 | 2,000 | 13,000 | 1700 | 7,800 | 1,700 | 23 | 54,000 | 54,000 | 11,000 | 70,000 | 11,000 | 22,000 | 7,800 |
| *E. coli (Escherichia coli)* | NMP/100 mL | 1,700,000 | 390,000 | 2,000 | 7,900 | 1700 | 7,800 | 1,700 | 13 | 54,000 | 4,000 | 3,300 | 26,000 | 3,300 | 22,000 | 7,800 |
| *Salmonella* | en 25 mL de muestra | A | A | A | P | P | A | A | A | A | P | A | A | A | A | A |
| *Pseudomona Aeruginosa* | en 25 mL de muestra | P | P | A | P | P | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Huevos de Helminto | - | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |

* No se reportan resultados en la estación lacustre L1 dado que estaba seca e infestada por tule en las fechas de muestreo.
A = Ausencia; ND = No detectado; P = Presencia.

**Tabla VIII. 8.** Valores obtenidos en el laboratorio del CIATEJ de metales pesados en las muestras de sedimentos tomadas en febrero de 2021 en las estaciones lacustres de la laguna y comparados con otros cuerpos de agua

| Metales | Unidad | Lago de Cajititlán* | Lago de Chapala* | L1 | L2 | L3 | L4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aluminio (Al) | mg/kg | 49,845.45 | - | 24,150.00 | 55,800.00 | 51,180.00 | 50,440.00 |
| Arsénico (As) | mg/kg | PDND | - | < 1.0 | < 1.0 | < 1.0 | < 1.0 |
| Cadmio (Cd) | mg/kg | PDND | 15.4 | < 0.25 | < 0.25 | < 0.25 | < 0.25 |
| Cobre (Cu) | mg/kg | 19.4 | 39.35 | 13.06 | 12.80 | 11.29 | 11.91 |
| Cromo (Cr) | mg/kg | 15.83 | 43.4 | 16.98 | 12.13 | 13.64 | 13.33 |
| Hierro (Fe) | mg/kg | 31,800.00 | 22,336.10 | 12,730.00 | 25,490.00 | 24,010.00 | 23,300.00 |
| Manganeso (Mn) | mg/kg | 416.04 | 1262 | 227.70 | 285.10 | 294.40 | 270.50 |
| Mercurio (Hg) | mg/kg | PDND | - | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |
| Níquel (Ni) | mg/kg | - | - | < 1.0 | < 1.0 | < 1.0 | < 1.0 |
| Plomo (Pb) | mg/kg | PDND | 225.15 | 2.76 | 2.43 | 2.44 | 2.61 |
| Zinc (Zn) | mg/kg | 37.98 | 191.8 | 23.73 | 29.41 | 31.40 | 27.94 |

PDND = Valores medidos por abajo del nivel de detección del equipo analítico.

* Comparativo con los valores reportados en la literatura para otros cuerpos de agua cercanos a la Laguna de Atotonilco (de Anda *et al.*, 2019).

**Tabla VIII. 9.** Valores medidos en el laboratorio del CIATEJ de plaguicidas en las en las muestras de agua tomadas en febrero, agosto, y diciembre de 2021 en las estaciones lacustres de la laguna

| Plaguicida | Unidades | LFD | L1 | L2 | L3 | L4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alpha-BHC | µg/L | | | < 2.00 | < 2.00 | < 2.00 |
| Gamma-BHC (Lindano) | µg/L | 2 | - | < 2.00 | < 2.00 | < 2.00 |
| Beta-BHC | µg/L | - | - | < 2.00 | < 2.00 | < 2.00 |
| Gamma-Clordano | µg/L | 2 | - | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 |
| Hexaclorobenceno | µg/L | 2.5 | - | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| Heptacloro | µg/L | - | - | < 0.03 | < 0.03 | < 0.03 |
| Aldrin | µg/L | 0.3 | - | < 0.03 | < 0.03 | < 0.03 |
| Heptacloro Epóxido | µg/L | - | - | < 0.03 | < 0.03 | < 0.03 |
| Endosulfan I | µg/L | 0.2 | - | < 1.00 | < 1.00 | < 1.00 |
| Endosulfan II | µg/L | - | - | < 1.00 | < 1.00 | < 1.00 |
| 4,4´- DDE | µg/L | 10 | - | < 1.00 | < 1.00 | < 1.00 |
| Dieldrin | µg/L | 2 | - | < 0.03 | < 0.03 | < 0.03 |
| Enddrin | µg/L | 0.02 | - | < 0.03 | < 0.03 | < 0.03 |
| 4,4´-DDD | µg/L | 0.1 | - | < 1.00 | < 1.00 | < 1.00 |
| 2,4´-DDT | µg/L | 1 | - | < 1.00 | < 1.00 | < 1.00 |
| 4,4´-DDT | µg/L | - | - | < 1.00 | < 1.00 | < 1.00 |
| Metoxicloro | µg/L | 0.005 | - | < 20.00 | < 20.00 | < 20.00 |
| Clorpirifos Metilo | µg/L | - | - | < 0.66 | < 0.66 | < 0.66 |
| Diazinon | µg/L | - | - | < 0.26 | < 0.26 | < 0.26 |
| Etion | µg/L | - | - | < 0.45 | < 0.45 | < 0.45 |
| Malation | µg/L | - | - | < 0.29 | < 0.29 | < 0.29 |
| Metamidofos | µg/L | - | - | < 0.30 | < 0.30 | < 0.30 |
| Benceno | µg/L | 50 | - | < 10.00 | < 10.00 | < 10.00 |
| Etilbenceno | µg/L | 100 | - | < 300.00 | < 300.00 | < 300.00 |
| Tolueno | µg/L | 200 | - | < 700.00 | < 700.00 | < 700.00 |
| Xileno | µg/L | - | - | < 500.00 | < 500.00 | < 500.00 |
| Trihalometanos totales | µg/L | - | - | < 0.20 | < 0.20 | < 0.20 |

* De acuerdo con el uso 3 de la Ley Federal de Derechos (LFD) para la protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales. Los números en rojo indican los valores que exceden los límites establecidos por la LFD. La toma de muestras se realizó a 30 cm por debajo de la superficie libre de la laguna. No se reportan resultados en la estación lacustre L1 dado que estaba seca e infestada por tule en las fechas de muestreo.

## Referencias


Allan, J. F. (1986). Geology of the Northern Colima and Zacoalco Grabens, southwest Mexico: Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt. *GSA Bulletin; 97*(4), 473-485. doi: https://doi.org/10.1130/0016-7606(1986)97<473:GOTNCA>2.0.CO;2

Allan, J. F., Nelson, S. A., Luhr, J. F., Carmichael, I. S. E., Wopat, M., Wallace, P. J. (1991). *Pliocene-Holocene Rifting and Associated Volcanism in Southwest Mexico: An Exotic Terrane in the Making: Chapter 21: Part III. Regional Geophysics and Geology. A114*, 425-445.

Allende, L., Tell, G., Zagarese, H., Torremorell, A., Pérez, G., Bustingorry, J., Escaray, R. & Izaguirre, I. (2009). Phytoplankton and primary production in clear-vegetated, inorganic-turbid, and algal-turbid shallow lakes from the pampa plain (Argentina). *Hydrobiologia*, 624, 45-60. https://doi.org/10.1007/s10750-008-9665-9.

Álvarez, A. C. C., & Blanco, J. L. (2016). *Variabilidad y Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/215402/CGACC_2016_Variabilidad_y_Cambio_Climatico_Impactos_Vulnerabilidad_y_Adaptacion.pdf

Angelone, S., Garibay, M. T., Cauhapé-Casaux, M. (2006). *Geología y Geotecnia – Permeabilidad de suelos.* Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Argentina. 39 p. https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf

Aquaveo. (2020). *Watershed Modeling System*. https://www.aquaveo.com/software/wms-watershed-modeling-system-introduction

Arche, A. (2008). Some precisions on the use of the term playa in the geologic literature. *Journal of Iberian Geology, 34*(1), 5-9. https://digital.csic.es/handle/10261/5470

Ayuntamiento de Tala (s/f). *H. Ayuntamiento Constitucional de Tala, Jalisco 2010 – 2012*. Guadalajara: Secretaría de Planeación. Fecha de consulta: 16 agosto 2022.

Ayuntamiento de Villa Corona (2016). *Plan parcial de desarrollo urbano.* La Esperanza en Atotonilco el Bajo, Municipio de villa Corona, Jalisco.

Baron, J.S., Poff, N.L., Angermeier, P.L., Dahm, C.N., Gleick, P.H., Hairston, Jr. N.G., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richter, B.D y Steinman, A.D. (2003). Ecosistemas de Agua Dulce Sustentables. Tópicos en Ecología,10, *Ecological Society of America (la Sociedad Norteamericana de Ecología).* 18 p. issues10_freshwater (esa.org)

Bencko V. & Foong, F. Y. L. (2017). The history of arsenical pesticides and health risks related to the use of Agent Blue. *Ann Agric Environ Med., 24*(2):312-316. doi: 10.26444/aaem/74715. Epub 2017 Jun 12. PMID: 28664715.

Belsley, D.A. (1991). *Conditioning Diagnostics: Collinearity and Weak Data in Regression. John Wiley & Sons.*

Bilal, M., Mehmood, S., Rasheed, T., & Iqbal, H. M. (2020). Antibiotics traces in the aquatic environment: persistence and adverse environmental impact. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 13, 68-74.

Blindow, I., Hargeby, A., Meyercordt, J., Schubert, H. (2006). Primary production in two shallow lakes with contrasting plant form dominance: A paradox of enrichment? Limnol. *Oceanogr., 51*(6):2711-2721. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.6.2711

Cámara de Diputados. (2020). *Ley Federal de Derechos.* Diario Oficial de la Federación. México. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/107_291220.pdf

Campos, A. (1987). *Procesos del ciclo hidrológico (Vol. 1).* Universidad Autónoma de San Luís Potosí., t. 1/2. San Luís Potosí. México. pp. 2-52.

Campos, A. (1992). *Procesos del ciclo hidrológico (2. ª ed.)*, Universidad Autónoma de San Luís Potosí, San Luís Potosí, México. pp. 10-35.

Campos-Aranda, D. F. (2010). Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la República Mexicana. *Ingeniería, Investigación y Tecnología, 11*(2), 179-188. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200005

Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography, 22* (2), pp. 378-382.

Carlson, R. E. y Simpson, J. (1996). *A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods*. Madison: North American Lake Management Society. USA. 96 p.

Chapman, Deborah V, World Health Organization, Unesco & United Nations Environment Programme. (1996). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring 2nd (D. Chapman, ed.)*, E & FN Spon. 2626 pp. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41850/0419216006_eng.pdf?sequence=1

Chaves-Solera, M. & Bermúdez-Loría, M. Z. (2006). Motivos y Razones para Quemar las Plantaciones de Caña de Azúcar en Costa Rica. En: *Memorias del XVI Congreso ATACA y XVI Congreso ATACORI, celebrado en Heredia, Costa Rica,* 1-4 agosto, 2006, p. 248-253. https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/AfiQvwFPWbNwWKuwCoErTHqkfBeoZSYw

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. (2020). *Apéndices I, II y III de la CITES*. https://cites.org/esp/app/index.php

Comín, F. A., Sorando, R., Darwiche-Criado, N., García, M., & Masip, A., (2014). A protocol to prioritize wetland restoration and creation for water quality improvement in agricultural watersheds. *Ecological Engineering*, 66, 10-18. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.059.

Comisión Estatal del Agua. (2015a). *Ficha hidrológica municipal – Acatlán de Juárez*. Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco. Gobierno del Estado de Jalisco, México. p. 40. http://info.ceajalisco.gob.mx/pdf/fichas/Acatl%C3%A1n%20de%20Ju%C3%A1rez.pdf

Comisión Estatal del Agua. (2015b). *Ficha hidrológica municipal – Jocotepec*. Comisión Estatal de Agua del Estado de Jalisco. Gobierno del Estado de Jalisco, México. p. 54. http://info.ceajalisco.gob.mx/pdf/fichas/Jocotepec.pdf

Comisión Estatal del Agua. (2015c). *Ficha hidrológica municipal – Tala*. Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco. Gobierno del Estado de Jalisco, México. p. 40. https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region2/tala.pdf

Comisión Estatal del Agua. (2015d). *Ficha hidrológica municipal – Tlajomulco*. Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco. Gobierno del Estado de Jalisco, México. p. 50. https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region4/tlajomulco%20de%20zu%C3%B1iga.pdf

Comisión Estatal del Agua. (2015e). *Ficha hidrológica municipal – Villa Corona*. Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco. Comisión Estatal de Agua del Estado de Jalisco. Gobierno del Estado de Jalisco, México. p. 45. https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region3/villa%20corona.pdf

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2006). *Mexico´s priority wetlands. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F., México. 80 p.

Comisión Nacional del Agua. (2015a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua del acuífero en el acuífero Lagunas (1449), Estado de Jalisco*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103778/DR_1449.pdf

Comisión Nacional del Agua (2015b). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero San Isidro (1450), Estado de Jalisco*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103780/DR_1450.pdf

Comisión Nacional del Agua (2015c). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Huejotitlán (1451), Estado de Jalisco*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103779/DR_1451.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2018). *Estadísticas del Agua en México 2018*. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM2018.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2020a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua del acuífero en el acuífero Lagunas (1449), Estado de Jalisco*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1449.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2020b). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero San Isidro (1450), Estado de Jalisco*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1450.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2020c). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Huejotitlán (1451), Estado de Jalisco*. https://siga-gis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1451.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2020d). *Registro Público de Derechos de Agua (REPDA)*. http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2018). *Programas de Manejo de las Áreas Naturales Protegidas de México*. https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programas-de-manejo?state=published

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2017). *Evaluación rápida de invasividad de Cyprinus carpio*. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México DF.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2019). *Áreas naturales protegidas del estado de Jalisco*. https://conacyt.mx/cibiogem/index.php/anpl/jalisco

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2018, 30 de octubre). *Lineamientos y criterios generales para la definición, identificación y medición de la pobreza*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5542421&fecha=30/10/2018

Consejo Nacional de Población. (2020). *Índice de marginación por localidad 2020*. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

Consejo Nacional de Población. (2021). *Base de datos del Índice de intensidad migratoria por municipio*. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indice-de-intensidad-migratoria-mexico-estados-unidos

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2022). *Medición de la pobreza: La cohesión social*. https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Cohesion_Social.aspx#:~:text=Coeficiente%20de%20Gini%3A%20mide%20la,en%20la%20distribuci%C3%B3n%20del%20ingreso

Contreras-Balderas, S. & Almada-Villela, P. (1996). *Ilyodon whitei. Lista Roja de especies amenazadas de la UICN 2016-3* (en inglés). ISSN 2307-8235.

Cotler, H., Priego, A. (2003). El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala. En: *El manejo*

*integral de cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*, pp. 79-89. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/528/analisis.pdf

Cotler H. (Coord.) (2010). *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT - Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., México D.F., 231 p.

Cotler-Ávalos, H. (Coord.) (2019). *Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Fundación Gonzalo Río Arronte. ISBN 978-607-7655-07-7. 231 p. https://agua.org.mx/biblioteca/las-cuencas-hidrograficas-de-mexico-diagnostico-y-priorizacion/

Dávalos-Lind, L. & Lind, O.T. (2001). Phytoplankton and Bacterioplankton Production and Trophic Relations in Lake Chapala. En: A. M. Hansen & M. van Afferden, (eds) *The Lerma-Chapala Watershed*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0545-7_9

de Anda, J., Díaz-Torres, J. de J., Gradilla-Hernández, M.S., & de la Torre-Castro, L.M. (2019). Morphometric and Water Quality Features of Lake Cajititlán, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment, 191*(2): 92. doi: 10.1007/s10661-018-7163-8.

de Anda, J., Gradilla-Hernández, M. S., Díaz-Torres, O., de Jesús Díaz-Torres, J., & de la Torre-Castro, L. M. (2019). Assessment of heavy metals in the surface sediments and sediment-water interface of Lake Cajititlán, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment, 191*(6), 1-13.

de Anda, J., Quiñones, S. E., French, R., Guzmán, M. (1998). Hydrologic Balance of Lake Chapala, (Mexico). *Journal of the American Water Resources Association, 34*(6): 1319-1331. Online ISSN: 1752-1688. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05434.x

de Anda-Sánchez, J., Meza-Rodríguez, D., Camacho-Rodriguez, A., Fernández-del Castillo Barrón, A., García-Peña, A., Díaz-Vázquez. D., Villegas-García, E., Sánchez-Osorio, E., Barba-Calvillo, G., García-Velasco, J., Cortés-Aguilar, J., Zavala-Aguirre, J.L., Sánchez-Gómez, J., Olvera-Vargas, L.A., Flores-López, M.L., Verduzco-Garibay, M., Gradilla-Hernández,

M.S., Garibay-Martínez, M.C., Lugo-Melchor, O.Y., Díaz-Torres, O., Sánchez-González, R & Romero-Romero, Y. (2020). *Estudio Limnológico para la Recuperación de la Laguna de Atotonilco, Jalisco*. Fondo de Desarrollo Científico de Jalisco (FODECIJAL) para Atender Problemas Estatales 2019. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Guadalajara, Jalisco, México.

Díaz-Delgado, C., Mamadou Bâ, K., IturbePosadas, A., Esteller, M. V., & ReynaSáenz, F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 6*(2).

Environmental Protection Agency. (2021). *Principles of Wetland Restoration*. https://www.epa.gov/wetlands/principles-wetland-restoration

ESRI (2020). ArcGIS - The mapping and analytics platform. https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview

Espinosa-Pérez, H., Dillanes, M.T.G. & Mata, P.F. (1993). *Listados faunísticos de México. III. Los peces dulceacuicolas Mexicanos*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico. 98 p. - via Catalogue of Life

Estrada, F. E, Flores, E. T., Michel, J. E. R. (1983). *Lago de Chapala: investigación actualizada, 1983*. Universidad de Guadalajara, Instituto de Geografía y Estadística [e] Instituto de Astronomía y Meteorología.

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics, 34*(1), 487-515. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419

Fernandez-Eguiarte A., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno y R. I. Trejo-Vázquez (2014). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México.Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México.

Ferrari, L., Pasquarè, G., Venegas-Salgado, S., & Romero-Rios, F. (2000). Geology of the western Mexican volcanic belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco block. *Special Papers-Geological Society of America,* 65-84.

Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 265-280. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x

Flores, F. (2019). Análisis integrado del territorio: el patrimonio natural y cultural de Jocotepec a partir de unidades patrimoniales. GEOCALLI. *Cuadernos de Geografía, 20* (39), http://www.geografia.cucsh.udg.mx/sites/default/files/geocalli_39.pdf

Franco, C. (2012). Tala: segundo productor de azúcar. *Strategos,* 15, https://iieg.gob.mx/strategos/wp-content/uploads/2013/10/strategos_15.pdf

Froese, R. & Pauly, D., (ed.) (2023). *Oreochromis aureus*. FishBase (en inglés). Consultado el 01 de agosto de 2023.

Gaarder, T., & Gran, H. H. (1927). Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. *Rapports et procès-verbaux des réunions/Conseil international pour l'exploration de la mer*, 42, 1-48.

García-Amaro, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN-10 (02) 970-32-1010-4. 80 p. http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2013). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGM DOMUS*, 4, 143–158. Recuperado a partir de https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476

Gaytán, R., de Anda, J., Nelson, J. (2008). Computation of the changes in the runoff regime of Lake Santana Watershed (Zacatecas, Mexico). *Lakes & Reservoirs: Research and Management, 13*(2), 155-167. DOI: 10.1111/j.1440-1770.2008.00364.x

Gaytán, R., de Anda, J., González-Farías, F. (2009). Initial appraisal of water quality of Lake Santa Ana, Mexico. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 14, 41-55. ISSN: 1440-1770. DOI: 10.1111/j.1440-1770.2009.00390.x

GBIF. (2022) *Global Biodiversity Information Facility*. IF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.ueet6n

Gleba (2018). *Zuka – Hoja de datos de seguridad*. https://gleba.com.ar/wp-content/uploads/2020/12/Zuka-HDS.pdf

Gleick, P. H. (1998). Water in Crisis: Paths to sustainable water use. *Ecological Applications, 8*(3), 571-579. https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0571:WICPTS]2.0.CO;2

Global Invasive Species Database. (2012). *Poecilia reticulata*. Consultado en octubre de 2012 en: http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=683&fr=1&sts=sss&lang=EN

Gobierno del Estado de Jalisco (2001, 28 de julio). *Ordenamiento, Ecológico Territorial del Estado de Jalisco*. Periódico Oficial del Estado de Jalisco. https://info.jalisco.gob.mx/bsearch?b=Ordenamiento%2C++Ecol%C3%B3gico+Territorial+2001&site=periodicooficial.jalisco.gob.mx

Gobierno del Estado de Jalisco (2019). *Plan Estratégico 2020-2022. Región Lagunas. Municipio de Villa Corona*.

Gobierno del estado de Jalisco. (2016). *Proyecto de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco. Sistema Productivo: Pesca*. http://siga.jalisco.gob.mx/moet/SubsistemaProductivo/Pesca/DiagPesca.htm

Gobierno del Estado de Jalisco. (s/f). *Tlajomulco de Zúñiga*. https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/tlajomulco-de-z%C3%BA%C3%B1iga. Última consulta: 06-01-2022.

Gobierno del Estado de Jalisco. (s/f-a). *Villa Corona*. https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/villa-corona. Última consulta: 10-01-2022.

Gobierno del Estado de Jalisco. (s/f-b). *Acatlán de Juárez*.https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/acatl%C3%A1n-de-juarez. Última consulta: 10-01-2022.

Gobierno del Estado de Jalisco. (s/f-c). *Tala*. https://www.jalisco.gob.mx/wx/jalisco/municipios/tala. Última consulta: 10-01-2022.

Gobierno del Estado de Jalisco. (s/f-d). *Jocotepec*. https://www.jalisco.gob.mx/wx/jalisco/municipios/jocotepec. Última consulta: 14-01-2022.

Gobierno Municipal Villa Corona. (s/f). *Historia del municipio de Villa Corona – Lugar sobre la tierra blanca*. https://www.villacorona.gob.mx/historia-de-villa-corona/. Última consulta: 10-01-2022.

Gómez, L. J.M. (2018). *Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021*. Ayuntamiento de Jocotepec, Jalisco, Gaceta Oficial, Vol.6. http://jocotepec.gob.mx/transparencia/index.php/ayuntamiento/articulo-15-informacion-fundamental-ayuntamiento/x-la-gaceta-municipal-y-demas-organos-de-difusion-y-publicacion-oficial-municipal/18564-gaceta-de-participacion-y-planeacion/file

González del Tánago, M & García de Jalón, D. (1995). Principios básicos para la recuperación de ríos y riberas. *Ecología*, 9, 47-64. https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_09_05_tcm30-100712.pdf

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L. & López-Enríquez, L. I. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351-403. http://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n100/n100a12.pdf

Grimm, N.B., Chacon, A., Dahm, C.N., Hostetler, S.W., Lind, O.T., Starkweather, P.L. & Wurtsbaugh, W.W. (1997). Sensitivity of aquatic ecosystems to climatic and anthropogenic changes: the basin and range, American Southwest and Mexico. *Hydrological Processes*, 11, pp. 1023-1041.

Guerra, P. F. (1980). *Fotogeología*. Ed. Universidad Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México. D. F. pp. 187-255.

Guilarte, R. (1978). *Hidrología Básica*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Caracas Venezuela. Caracas-Venezuela. 667 p.

Guilarte, C.M., Astraín, P. J. & Díaz. I. (1995). *Tecnología para la creación del modelo digital del relieve y cálculo de los modelos digitales morfométricos [inédito]*. Unión de Construcciones, EMPI. Pp. 12-25.

Gurrutxaga-San Vicente, M., & Lozano-Valencia, P. (2012). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. Polígonos. *Revista de Geografía, 0*(16), 35-54. http://dx.doi.org/10.18002/pol.v0i16.410

Gutiérrez Negrín, L. C. A. (1988). La Primavera, Jalisco, Mexico: geothermal field. *Transactions of the Geothermal Research Council*, 12, 1988, 161-165. https://publications.mygeoenergynow.org/grc/1001702.pdf

H. Ayuntamiento de Acatlán de Juárez (2007). *Plan de Desarrollo Municipal 2007-2027*. http://seplan.app.jalisco.gob.mx/files2/PlanesMunicipales2007/Plan%20Municipal%20de%20Desarrollo%202007-2009%20Acatlan%20de%20Juarez.pdf. Última consulta: 10-01-2022.

H. Ayuntamiento de Villa Corona (2016). *Plan parcial de desarrollo urbano "la Esperanza" en Atotonilco el Bajo, en el municipio Villa Corona, Jal.* https://www.villacorona.gob.mx/transparencia-villacorona/Art15/XXII/DOCUMENTO-PLAN-PARCIAL-LA-ESPERANZA-SEPTIEMBRE-22.pdf

Hernani, A.T. y Ramírez, R.J. (2002). Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse tropical de alta montaña: Represa la Fe, El Retiro, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias, 26* (101): 511-518.

Hojati, M., Mokarram, M. (2016). Determination of a topographic wetness index using high resolution digital elevation models. *European Journal of Geography, 7*(4): 41 - 52. ISSN: 1792-1341. http://www.eurogeography-journal.eu/

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of América*, 56, 275 - 370.

Ibáñez, J. J. & Manríquez-Cosio, F. J. (2013). Solonchaks (WRB). Suelos Salinos. *Madri+d Blogs*. https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2013/12/17/144776

Ibarra-Montoya, J. L., & Rangel-Peraza, G., & González-Farias, F. A., & De Anda, J., Martínez-Meyer, E., & Macias-Cuellar, H. (2012). Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de Microcystis sp (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 7*(1),218-234. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92823615017

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2018). *Acatlán de Juárez: Diagnóstico del municipio*. https://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/AcatlandeJuarez.pdf.

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2019). *Tlajomulco de Zúñiga: Diagnóstico del municipio*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/06/Tlajomulco-de-Z%C3%BA%C3%B1iga.pdf.

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2019). *Villa Corona: Diagnóstico del municipio*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/10/Villa-Corona.pdf

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2019). *Jocotepec: Diagnóstico del municipio*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/06/Jocotepec.pdf

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2019). *Acatlán de Juárez: Diagnóstico del municipio*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/08/Acatl%C3%A1n-de-Ju%C3%A1rez.pdf

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2018). *Acatlán de Juárez: Diagnóstico del municipio*. https://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/AcatlandeJuarez.pdf.

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2019). *Tlajomulco de Zúñiga, Diagnóstico del municipio*. Gobierno del estado de Jalisco.

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2019). *Villa Corona: Diagnóstico del municipio*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/10/Villa-Corona.pdf

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco. (2019). *Acatlán de Juárez: Diagnóstico del municipio*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/08/Acatl%C3%A1n-de-Ju%C3%A1rez.pdf

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco y Gobierno del Estado de Jalisco (2019). *Tlajomulco de Zúñiga: diagnóstico Municipal*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/08/Tlajomulco-de-Z%C3%BA%C3%B1iga.pdf. Última consulta: 06-01-2022.

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco y Gobierno del Estado de Jalisco (2021). *Directorio de unidades económicas registradas en Jalisco, noviembre de 2021*. https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=1153 Última consulta: 19-01-2022.

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco y Gobierno del Estado de Jalisco (2019a). *Jocotepec: Diagnóstico municipal*. https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/11/Jocotepec.pdf. Última consulta: 10-01-2022.

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco y Gobierno del Estado de Jalisco (2018). *Villa Corona: Diagnóstico Municipal*. https://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/VillaCorona.pdf. Última consulta: 10-01-2022.

Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco (2022). *Base de datos Pobreza Multidimensional por municipio, 2010-2020*. https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=3786

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2009). Cuenca hidrográfica. *Atl – El portal del agua desde México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=820:cuenca-hidrografica&catid=58:cuencas-hidrogrcas&Itemid=471

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (s/f). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Tlajomulco de Zúñiga*. http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/municipios/14097a.htm. Última consulta: 06-01-2022.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (s/f-a). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Villa Corona*. http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/municipios/14114a.html. Última consulta: 10-01-2022.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (s/f-b). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Acatlán de Juárez*. http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/municipios/14002a.html. Última consulta: 10-01-2022.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (s/f-c). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Jocotepec*. http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/municipios/14050a.html. Última consulta: 10-01-2022.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (s/f-d). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Tala*. http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/municipios/14083a.html. Última consulta: 10-01-2022.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2001). *Estudio Hidrológico del Estado de Jalisco.* Gobierno del Estado de Jalisco. ISBN 970-13-3561-9.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2006). *Guía para la interpretación de Cartografía. Edafología.* Informática Ed. INEGI. Aguascalientes. México. 1-26 pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). *Conjunto de datos vectoriales Edafológicos, escala 1:250,000, Serie II.* https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). *Censos Económicos 2009*. https://www.inegi.org.mx/app/saich/v1/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie IV (continuo nacional*), escala: 1:250000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Aguascalientes, Ags., México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Panorama sociodemográfico de Jalisco 2015. Encuesta Intercensal.* https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/panorama/702825082239.pdf.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, Serie VII.* https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Fisiografía.* https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.* https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Continuo Nacional de Información Topográfica, escala 1:50,000 Serie III.* https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Censo de Población y Vivienda 2020. Panorama sociodemográfico de México 2020*. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/tableros/panorama/

Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara. (2015). *Galería fotográfica de Cerro Viejo*. https://www.imeplan.mx/es/fotogaleria/cerro-viejo

Izaguirre-Vázquez, A. (2021). Fertilización de Maíz en la Ciénega de Chapala, Jalisco, México. *Intagri*. https://www.intagri.com/articulos/cereales/fertilizacion-de-maiz-en-cienega-chapala-jalisco-mexico.

Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas. (2020a). *Diagnóstico municipal y planeación de acciones para la prevención y gestión integral de residuos para el Municipio de Villa Corona, Jalisco, México.* Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. Gobierno del Estado de Jalisco. México. 129 p.

Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas. (2020b). *Diagnóstico municipal y planeación de acciones para la prevención y gestión integral de residuos (DGIR) del municipio de Acatlán de Juárez*. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. Gobierno del Estado de Jalisco. México. 116 p.

Kirpich, Z. P. (1940). Times of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering, 10*(6), 362.

Klohn, W. (1970). *Magnitudes fisiográficas e Índices morfométricos relacionados con la hidrología*. Publicación Aperiódica No. 12 del Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología, Bogotá, Colombia. pp. 3-15.

Koeck, M. & Maiz-Tome, L. (2019). *Goodea atripinnis. IUCN Red List of Threatened Species. 2019: e.T133768576A1276740*. doi:10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T133768576A1276740.en.

Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M.C., Ahrens, R.J., Cruz-Gaistardo, C.O., Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E. (2013). Soil Degradation. En *The Soils of Mexico*. World Soils Book Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5660-1_6

Last, W. M. (2002). Geolimnology of salt lakes. *Geosciences Journal, 6*(4), 347-369. https://doi.org/10.1007/BF03020619

Llamas, J. M. (1993). *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. España. ISBN: 9788475854359. 636 p.

López, A., Lozano, P., & Sierra, P. (2012). Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: estudio de caso zona costera del departamento del Atlántico. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 41* (1), 61-83. http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v41n1/v41n1a04.pdf

Lowe S., Browne M., Boudjelas S., & De Poorter M. (2000). *100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database*. GEEI-CSE-UICN. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2000-126-Es.pdf

Lucava (s/f). *Picaña – Ametrina + ácido 2,4-D*. Ficha técnica. https://agrolucava.com/wp-content/uploads/2022/06/FT.PICANA.pdf

Lux-Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. [Conjunto de datos] (Inédito). http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/

Macías, J. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57*(3) 379-424. 57. http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v57n3/1405-3322-bsgm-57-03-379.pdf.

Mahood, G. A. (1981). A summary of the geology and petrology of the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 10137-10152. https://doi.org/10.1029/JB086iB11p10137

Manfré, L.A., da Silva, A.M., Urban, R.C.& Rodgers, J., (2013). Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region). *Environ Earth Sci,* 69, 947–957. https://doi.org/10.1007/s12665-012-1979-2

Mar-Silva, V. (2015). *Ecología trófica de Chirostoma jordani (Woolman, 1894) en el lago de Cuitzeo* [Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Repositorio institucional UMSNH. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1730

Martínez-Ramírez, E. (2002). *Poecilia butleri. Propuesta de categorías de riesgo para la ictiofauna dulceacuícola de Oaxaca*. Centro Interdisciplinario de Investiga-

ción para el Desarrollo Integral Regional-Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W021. México. D.F.

Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (eds.) (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* In Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf

Meek, S.E. (1904). *The fresh-water fishes of Mexico north of the isthmus of Tehuantepec*. Publications of the Field Columbian Museum, Zoological series v.5:i–lxiii + 1–252, Pls.1–17.

Meza-Rodríguez, D. (2021). *Balance hidrológico de la cuenca de la Laguna de Atotonilco. Informe de avances de la segunda etapa del proyecto FODECIJAL 8193-2019*. Centro de Investigación y Asistencia em Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Guadalajara, Jalisco, México. 99 p.

Milić, N., Milanović, M., Letić, N. G., Sekulić, M. T., Radonić, J., Mihajlović, I., Miloradov, M. V. (2013). Occurrence of antibiotics as emerging contaminant substances in aquatic environment. *Int J Environ Health Res., 2*3(4), 296-310. doi: 10.1080/09603123.2012.733934.

Miller, R.R. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana, A.C., El Colegio de la Frontera Sur, Consejo de los Peces del Desierto. México

Mitsch, W.J. & Gosselink, J.G. (1993). *Wetlands. Segunda edición*. New York: Van Nostrand Reinhold. ISBN 0 442 00805 8. 722 p.

Moreno-Sanchez, R., Torres-Rojo, J. M., Moreno-Sanchez, F., Hawkins, S., Little, J., MacPartland, S. (2012). National assessment of the fragmentation, accessibility and anthropogenic pressure on the forests in Mexico. *Journal of Forestry Research, 23*(4), 529-541. https://doi.org/10.1007/s11676-012-0293-x

Morett-Sánchez, J. Carlos, & Cosío-Ruiz, Celsa. (2017). Panorama de los ejidos y comunidades agrarias en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo, 14*(1), 125-152. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722017000100125&lng=es&tlng=es

Moyaho, A., Garcia, C. M., & Ávila-Luna, E. (2004). Mate choice and visibility in the expression of a sexually dimorphic trait in a goodeid fish (Xenotoca variatus). *Canadian journal of zoology, 82*(12), 1917-1922.

Moyle, P. & Cech, J. (2000). *Fishes: An Introduction to Ichthyology, 4ª edición*. Prentice-Hall. 2000.

Municipio de Jocotepec (2011). *Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Jocotepec, Jalisco*. Jalisc, México: Gobierno de Jalisco, Gobierno de Jocotepec, Geosíntesis SC.

National Geographic. (2021). *Landscape*. https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/landscape/

Nelson, J. (1994). *Fishes of the World, 3ª edición*. John Wiley and Sons.

Nelson, J.S. (2006). *Fishes of the world (en inglés) (4ª edición)*. John Wiley & Sons, Inc. pp. 624.

Nelson, J.S., Crossman, E., Espinosa-Pérez, H., Findley, L.T., Gilbert, C.R., Lea, R.N & Williams, J.D. (2004). *Common and scientific names of fishes from the United States, Canada, and Mexico*. American Fisheries Society, Special Publication 29, Bethesda, Maryland. ix, 386 p. + 1 CD. - via Catalogue of Life.

Organization for Economic Co-operation and Development. (2003). O*ECD Environmental indicators – Development, measurement, and use*. http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf

Organization for Economic Co-operation and Development, (2008). *Surface Water Quality Regulation in EECCA Countries: Directions for Reform*. https://www.oecd.org/env/outreach/41832129.pdf

Organización de los Estados Americanos (1991). *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. Organización de los Estados Americanos. Washington D.C. 145 p. https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/oea57s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s/f). *Permeabilidad del suelo*. http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Guía para la descripción de suelos, Cuarta Edición*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Tomado de: https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). *México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. https://www.fao.org/documents/card/en/c/e3f040f5-b2f2-4d09-a8d6-fa3ffa97e759/

Oldeman, L. R. (1998). *Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation*. International Soil Reference and Information Center. Wageningen, Holland. Working paper and reprint No. 88/4. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8377/-Guidelines%20for%20General%20Assessment%20of%20the%20Status%20of%20Human-Induced%20Soil%20Degradation-19913299.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Olvera-Vargas, L. A. (2022). *Información territorial y cartografía temática. Informe final del proyecto LPL-JIMAL-CCC-06-2021. Elaboración del estudio técnico justificativo y programa de aprovechamiento para la declaratoria del área estatal de protección hidrológica Laguna de Atotonilco.* Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Guadalajara, Jalisco, México. 130 p.

Organización Meteorológica Mundial. (2019). *Peligros naturales y reducción de riesgos de desastre*. https://public.wmo.int/es/peligros-naturales-y-reducci%C3%B3n-de-riesgos-de-desastre

Ortiz-Jiménez, M. A., de Anda, J., Shear, H. (2005). Hydrologic balance of Lake Zapotlan (Mexico). *Journal of Environmental Hydrology, 13*(5), 1-12. ISSN: 10583912. http://hydroweb.com/jeh/jeh2005/deanda.pdf

Palacio-Prieto J. L., Sánchez-Salazar M. T. Casado Izquierdo, J. M., Propin Frejomil E. Delgado Campos J., Velázquez Montes A.,Chias Becerril

L. Ortiz Álvarez, M. I., González Sánchez, J., Negrete Fernández, G., Gabriel Morales, J., Márquez Huitzil R., Nieda Manzano, T., Jiménez Rosenberg, R., Muñoz López, E., Ocaña Nava, D., Juárez Aguirre, E., Anzaldo Gómez, C., Hernández Esquivel, J. C.,Valderrama Campos, K., Rodríguez Carranza, J., Campos Campuzano, J. M., Vera Llamas Cruz, H., Camacho Ramírez, C. G. (2004). *Indicadores para la caracterización y el Ordenamiento Territorial*. Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN 970-32-1885-7. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/index.html

Parenti, Lynne R. (1981). A phylogenetic and biogeographic analysis of cyprinodontiform fishes (Teleostei, Atherinomorpha). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 168. 335–557. https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/15614/vz_Parenti_Cyprinodontiformes_1981.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Plan Municipal de Acatlán de Juárez (2018). *Plan municipal de desarrollo y gobernanza 2018-2021. Visión 2030*. https://acatlandejuarez.gob.mx/docs_trans/PLAN-MUN-DES-2015-18.pdf

Plan Estatal de Desarrollo Jalisco. (2013). *Colección Planes y Programas. Plan de Desarrollo de la Región Lagunas 2015-2025*. Biblioteca de Administración pública estatal y municipal.

Plan Municipal de Acatlán de Juárez (2018). *Plan municipal de desarrollo y gobernanza 2018-2021. Visión 2030*. Ayuntamiento de Acatlán de Juárez, Jalisco https://acatlandejuarez.gob.mx/docs_trans/PLAN-MUN-DES-2015-18.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2010). *Evaluación del Riesgo de Desastres*. United Nations Plaza, New York, NY 10017 USA file:///C:/Users/Jos%C3%A9/Downloads/reduccion_del_riesgo_de_desastres%20(1).pdf

Quiroga-Martínez, R., 2009. *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, junio de 2009. Naciones Unidas. CEPAL. 129 p. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5502/1/S0900307_es.pdf

Quiros, R. (2004). S*obre la morfología de las lagunas Pampeanas. Documento de trabajo del área de sistemas productivos acuáticos Número 3*. Departamento de producción animal, Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. pp. 1-16.

Rattner, B. A. (2009). History of wildlife toxicology. *Ecotoxicology*, 18, 773–783. https://doi.org/10.1007/s10646-009-0354-x

Registro Agrario Nacional. (2019). *Perimetrales núcles agrarios – Entidad Federativa Jalisco*. https://datos.gob.mx/busca/organization/about/ran

Richards, L. A. (Ed.). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 60. 166 p. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf

Richards, L. A. (1990). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual núm. 60. Sexta reimpresió*n. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-Laboratorio de Salinidad. Limusa. México, DF. 85-88 pp.

Richter, G. (ed.) (1998). *Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems*. Darmstadt. 268 p.

Riitters, K., Wickham, J., O'Neill, R., Jones, B., & Smith, E. (2000). Global-Scale Patterns of Forest Fragmentation. *Conservation Ecology, 4*(2). http://www.jstor.org/stable/26271763

Roldán, G.P., Ramírez, R. J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical (2da. Edición)*. Editorial Universidad de Antioquia. Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Medellín, Colombia. pp. 40-76.

Roland, F. & de Assis Esteves, F. (1998). Effects of bauxite tailing on PAR attenuation in an Amazonian crystalline water lake. *Hydrobiologia*, 377, 1–17. https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1003252805671.pdf

Rúelas, O. L.R. (2018). *Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021. Ayuntamiento de Villa Corona, Jalisco, México.* http://www.villacorona.gob.mx/transparencia-villacorona/Reglamentos/Plan-Municipal-de-desarrollo-villa-corona.pdf.

Rúelas, O. L.R. (2018). *Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021. Ayuntamiento de Villa Corona, Jalisco, México.* http://www.villacorona.gob.mx/transparencia-villacorona/Reglamentos/Plan-Municipal-de-desarrollo-villa-corona.pdf.

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F., México. 432 p.

Sánchez-Duarte, P., Gutiérrez, F. de P. & Díaz-Espinosa, A.M. (2012). *Poecilia latipinna*. En F. De Paula Gutiérrez, C. Lasso, M. Baptiste, P. Sánchez-Duarte & A. Díaz (eds.), *Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y transplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia: VI.

Sánchez-García O. (2015). *Iniciativa de acuerdos con carácter de dictamen*. Gobierno municipal. https://www.tlajomulco.gob.mx/sites/default/files/transparencia/pleno/15VII-iacd-apoyoparalaelaboraciondecompostayfertilizanteorganicoysusreglasdeoperacion23ene2015.pdf.

Sánchez, V. A. (1987). *Conceptos elementales de hidrología forestal agua, suelo y vegetación. La cuenca hidrográfica*. Editorial. División de Ciencias Forestales. Primera Edición. Volumen 1. Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 57-97.

Sánchez-San Román, F. J. (s/f). *Hidrología - Hidrogeología*. Departamenteo de Geología Universidad de Salamanca. España. https://hidrologia.usal.es/

Sanseverino, I., Navarro Cuenca, A., Loos, R., Marinov, D., & Lettieri, T. (2018). *State of the Art on the Contribution of Water to Antimicrobial Resistance*. Brussels: European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC114775

Schäfe, A. E., Alves M.C., Maurer S. S., Ahlert, S. y Lanzer, R.M. (2014). Morphological characterization of eighteen lakes of the north and middle coast of Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia, 26*(2), 199-214.

Scheffer, M. (1998). *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman & Hall, London. ISBN (Print) 9780412749209.

Schütt, B. & Thiemann, St. (2001). *Assessment and Monitoring of Erosion and Sedimentation Problems in Ethiopia. Geomorphological Investigation of Erosion Processes in eight selected Watersheds*. Trier. https://www.geo.fu-berlin.de/en/v/iwm-network/learning_content/environmental-background/slope_dynamics/soil_erosion/index.html

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Diagnóstico para el establecimiento de una estrategia de recuperación y preservación de la Laguna de Villa Corona*. Gobierno del Estado de Jalisco. México. 36 p.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2007). *Evaluación Alianza para el Campo. Informe de Evaluación Estatal*. Programa de Acuacultura y pesca. Jalisco.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). Nutrición del cultivo de caña de azúcar y uso eficiente de fertilizantes. *Boletin técnico informativo octubre 2015*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114366/Boletin_Tecnico_Informativo_Octubre_2015.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2005). *Laguna de Atotonilco. Ficha Informativa de los Humedales Ramsar*. https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/fichalagunadeatotonilco.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2009). *Programa de Conservación y Manejo de Sitio Ramsar Laguna de Atotonilco*. 149 p. Recuperado el 02 de agosto de 2020 de https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/programa_de_conservacion_y_manejo_0.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2011). *Estudio técnico justificativo para la declaratoria de área estatal de protección hidrológica Cerro Viejo- Chupinaya - Los Sabinos*. 450 p. http://siga.jalisco.gob.mx/multi/CerroViejoETJ.PDF

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2016). *1604 Laguna de Atotonilco*. https://semadet.jalisco.gob.mx/medio-ambiente/biodiversidad/comite-estatal-humedales/148

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Norma Oficial Mexicana. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies*

*nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2000). *Programa de manejo área de protección de flora y fauna La Primavera*. México. 101 p. https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/ProgramadeManejo_0.pdf

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008, 01 de octubre). *ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Laguna Villa Corona A, Laguna Villa Corona B, Laguna San Marcos-Zacoalco, Laguna de Sayula A, Laguna de Sayula B y Laguna de Zapotlán, mismos que forman parte de la porción de la Región Hidrológica denominada Cuencas Cerradas de Sayula*. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5028177&fecha=10/01/2008

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010, 30 de diciembre). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación. https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3552/1/nom-059-semarnat-2010__30-dic-2010.pdf

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Laguna Villa Corona A, Laguna Villa Corona B, Laguna San Marcos-Zacoalco, Laguna de Sayula A, Laguna de Sayula B y Laguna de Zapotlán, mismas que forman parte de la Subregión Hidrológica Cuencas Cerradas de Sayula, de la Región Hidrológica número 12 Lerma-Santiago*. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5305865&fecha=08/07/2013

Secretaria General. (2013, 18 de mayo). *DECRETO 3/2013 que establece el área natural protegida bajo la categoría de Área Estatal de Protección Hidrólogica, Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos*. Periódico Oficial. https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/05-18-13-iv.pdf

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *ACUERDO por el que se dan a conocer los resultados de los estudios técnicos de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Laguna Villa Corona A, Laguna Villa Corona B, Laguna San Marcos-Zacoalco, Laguna de Sayula A y Laguna de Sayula B, mismas que forman parte de la Subregión Hidrológica Cuencas Cerradas de Sayula, de la Región Hidrológica número 12 Lerma-Santiago.* Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5432307&fecha=07/04/2016

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016, 7 de julio). *ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos.* Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5443858&fecha=07/07/2016

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán*. https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-sierra-de-manantlan

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *La Primavera celebra 39 años como Área Natural Protegid*a. https://www.gob.mx/conanp/articulos/la-primavera-celebra-39-anos-como-area-natural-protegida

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019, 26 de febrero). *ACUERDO por el que se dan a conocer los valores de cada una de las variables que integran las fórmulas para determinar durante el ejercicio fiscal 2019 las zonas de disponibilidad, a que se refieren las fracciones I y II, del artículo 231 de la Ley Federal de Derechos, vigente a partir del 1 de enero del 2014*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5551163&fecha=26/02/2019

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019, 28 de diciembre). *ACUERDO por el que se establecen las Reglas de Operación del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES)*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5583023&fecha=28%2F12%2F2019

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020, 21 de septiembre). *ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600849&fecha=21/09/2020

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s/f). *Indicadores básico de desempeño ambiental*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores13_cd/conjuntob/00_conjunto/introduccion.html

Shimrah, T., Lungleng, P., Devi, A.R., Sarma, K., Varah, F. & Khuman, Y. S. (2022). Spatio-temporal assessment on land use and land cover (LULC) and forest fragmentation in shifting agroecosystem landscape in Ukhrul district of Manipur, Northeast India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 14. https://doi.org/10.1007/s10661-021-09548-3

Silva-Hidalgo, H, Aldama, Á.A., Martín-Domínguez, I.R y Alarcón-Herrera, M.T. (2013). Metodología para la determinación de disponibilidad y déficit de agua superficial en cuencas hidrológicas: aplicación al caso de la normativa mexicana. *Tecnología y ciencias del agua, 4*(1), 27-50.

Sistema Nacional de Información del Agua. (2021). *Monitoreo de las Principales Presas de México*. http://sina.conagua.gob.mx/sina/almacenamientoPresas.php

Servicio de Información sobre Sitios Ramsar. (2011). *Lago de Chapala. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*. https://rsis.Ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1973RIS.pdf?language=es

Society for Ecological Restoration (SER). (2021). *What is Ecological Restoration?* Recueprado de https://www.ser-rrc.org/what-is-ecological-restoration/

Soto-Galera, E. y Alcántara-Soria, L. (2007). Ficha técnica de Zoogoneticus quitzeoensis. En E. Soto-Galera (compilador), *Conocimiento biológico de 32*

*especies de peces dulceacuícolas mexicanos incluidos en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2001*. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. CK011. México, D.F.

Speed, R., Li Y., Le Quesne, T., Pegram, G. and Zhiwei, Z., (2013). *Basin Water Allocation Planning. Principles, procedures and approaches for basin allocation planning*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, France. https://www.adb.org/sites/default/files/publication/30247/basin-water-allocation-planning.pdf

Speed, R. A., Tickner, D., Naiman, R., Lei, G., Sayers, P., Wei, Y., Li, Y., Huang, H., Cao, J., Yu, L., Zhao, Z., (2016a). A framework for strategic river restoration in China. *Water International, 41*(7), 998-1015. http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2016.1247311.

Speed, R. A., Li, Y., Tickner, D., Huang, H., Naiman, R. J., Cao, J., Lei, G., Yu, L., Sayers, P., Zhao, Z., Wei, Y., (2016b). *River restoration: a strategic approach to planning and management*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, France. 202 p. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245644

Strahler, A. (1964). Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. En V. Chow (ed.)., *Handbook of Applied Hydrology,* McGraw Hill, New York, 439-476.

Strahler, A. (1966). *The Earth Sciences. Harper y Row. Segunda Impresión*. Japón. pp. 577-592.

Témez, P.J.R. (1977). *Modelo Matemático de transformación "Precipitación-Aportación"*. Comision E. <Explotacion y Garantia> Grupo de Trabajo de Predicciones de Precipitación y Relación entre Precipitaciónes y Caudales. Madrid. España. 51 P.

Torres-Guerrero, C. A., Gutiérrez-Castorena, M. C., Ortiz-Solorio C. A. y Gutiérrez Castorena, E. V. (2016). Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana*, 34, 457-466. http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00457.pdf

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2020). *Red List*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. https://www.iucn.org/es/tags/work-area/red-list

Umaña-Villalobos, G., Acuña-González, J., García-Céspedes, J., Agüero-Alfaro, G., Zúñiga-Peña, J. C., Gómez-Ramírez, E., Barboza, J. P. (2015). Productividad primaria en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical, 63*(1),9-28. ISSN: 0034-7744. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44943930002

United Nations Environment Programme (2019). *Chapter 2. Ecological Connectivity: A Bridge to Preserving Biodiversity - Frontiers 2018/19: Emerging Issues of Environmental Concern*. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27541

Urzúa, M. (2020). Cerro Viejo y La Primavera ya son Patrimonio Cultural de Jalisco. *La verdad de Tlajomulco*. https://laverdadtlajomulco.com/2020/08/06/patrimonio-cultural-jalisco/.

US Geological Survey (2020). *Watersheds and Drainage Basins*. Estados Unidos. https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/watersheds-and-drainage-basins?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Vogelmann, James E. (1995). Assessment of Forest Fragmentation in Southern New England Using Remote Sensing and Geographic Information Systems Technology. *Conservation Biology,* 9 (2): 439-449. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.9020439.x

Wang, J., Song, C., Reager, J.T., Fangfang, Y., Famiglietti, J., Sheng, Y., MacDonald, G., Brun, F., Schmied, H., Martson, R. & Wada, Y. (2018) Recent global decline in endorheic basin water storages. *Nature Geoscience*, 11, 926-932. https://doi.org/10.1038/s41561-018-0265-7

Weinberg, S. (1979). Phenomenological Lagrangians. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applicatio*ns, 96 (1–2), 327-340. https://doi.org/10.1016/0378-A371(79)90223-1

Wetzel, R.G. (1981). *Limnologí*a. Editorial. Omega S.A. Barcelona.

Wilson, J. P. & Gallant, J. C. (2000). Digital terrain analysis. En J. Wilson & J. C. Gallant (Eds.), *Terrain Analysis*. John Wiley & Sons, New York, pp. 1–27.

Yapiyev, V., Sagintayev, Z., Inglezakis, V. J., Samarkhanov, K., Verhoef, A. (2017). Essentials of Endorheic Basins and Lakes: A Review in the Con-

text of Current and Future Water Resource Management and Mitigation Activities in Central Asia. *Water, 9*(10), 798. https://doi.org/10.3390/w9100798

Zamora, Z. S. (2019). *Plan Municipal de Desarrollo y Gobernanza 2018-2021. Visión 2030*. Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México. https://tlajomulco.gob.mx/sites/default/files/transparencia/reglamentos/AcuerdoPublicacion-PlanMunicipalDesarrolloyGobernanzaTlajomulco2018-2021-15Julio2019.pdf.

Zedler, J. B. (2000). Progress in wetland restoration ecology. *Trends in Ecology & Evolution, 15*(10), 402-407. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)01959-5

La Laguna de Atotonilco se encuentra a escasos 50 km al Sur Poniente del Área Metropolitana de Guadalajara, oficialmente es conocida igualmente como Laguna de Villa Corona. La Laguna de Atotonilco fue designada sitio Ramsar en el año 2006 y su área de protección cubre un espacio de 2,850 hectáreas. En ella se encuentra bien representada la biodiversidad típica de los humedales continentales del Occidente de nuestro país, los cuales constituyen el hábitat de una amplia diversidad de aves endémicas y migratorias que llegan a esta zona procedentes de diferentes latitudes. En esta laguna se puede apreciar decenas de especies de aves, entre las que destacan el pato canela, el pato cucharón norteño, el pato golondrino, el ave espátula rosada, el ganso blanco, el pelícano blanco americano, entre otras. En la cuenca de la laguna se han encontrado huesos de especies prehistóricas como el mamut, caballo y de un ancestro de armadillo de hace unos 13 mil años, lo cual es una muestra de la riqueza paleontológica del Sur de Jalisco, pero igualmente se han descubierto tumbas de tiro que revelan que la presencia humana en la cuenca data de hace más de 2000 años. Esto gracias a que la laguna ha sido un refugio de diversas especies terrestres y acuáticas, lo que paulatinamente fue atrayendo a los primeros grupos humanos cazadores y recolectores del occidente del país.

En esta obra se comparte el conocimiento generado por un grupo de expertos acerca de este importante territorio del estado de Jalisco, en donde se dan a conocer los aspectos relacionados con los procesos naturales, la biodiversidad, la geomorfología que le da las características tan someras a la laguna, la sensibilidad del balance hídrico a los cambios de clima y a la explotación intensiva del recurso, los aspectos socioambientales y las acciones que se han llevado a cabo para recuperar el régimen hídrico de este importante cuerpo de agua.

CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CIATEJ
PARQUE INDUSTRIAL CENTRO LOGÍSTICO JALISCO
COECYTJAL
Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco